



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y  
FORESTAL**



**“ADSORCIÓN DEL PLOMO (Pb) EMPLEANDO BIOMASA  
DE *Musa paradisiaca*, EN AGUAS PROCEDENTES DE  
LA CUENCA DEL RIO RAMIS - AZÁNGARO, 2023”**

**PRESENTADO POR:**

**JUAN RICARDO MAMANI ADCO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR: Dr. WILE MAMANI NAVARRO**



**JULIACA - 2024**

**PERÚ**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**FORESTAL**



**“ADSORCIÓN DEL PLOMO (Pb) EMPLEANDO BIOMASA  
DE *Musa paradisiaca*, EN AGUAS PROCEDENTES DE  
LA CUENCA DEL RIO RAMIS – AZÁNGARO, 2023”**

**PRESENTADO POR:**

**JUAN RICARDO MAMANI ADCO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR: Dr. WILE MAMANI NAVARRO**



**JULIACA - 2024**

**PERÚ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**FORESTAL**



**“ADSORCIÓN DEL PLOMO (Pb) EMPLEANDO BIOMASA DE *Musa paradisiaca*, EN AGUAS PROCEDENTES DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS – AZÁNGARO, 2023”**

**PRESENTADO POR:**

Bach. JUAN RICARDO MAMANI ADCO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**ASESOR:**

Dr. WILE MAMANI NAVARRO

**JULIACA - 2024**

**PERÚ**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Mamani, J. (2024). *Adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de Musa paradisiaca, en aguas procedentes de la cuenca del rio Ramis – Azángaro, 2023* (Tesis de pregrado).  
Universidad Nacional de Juliaca.

<b>AUTOR</b>	: Juan Ricardo Mamani Adco
<b>TÍTULO</b>	: Adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> , en aguas procedentes de la cuenca del rio Ramis – Azángaro, 2023
<b>PUBLICACIÓN</b>	: Julio, 2024
<b>DESCRIPCIÓN</b>	: Cantidad de páginas (112 pp)
<b>NOTA</b>	: Tesis de Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal Facultad Ciencias de la Ingeniería Universidad Nacional de Juliaca
<b>CÓDIGO</b>	: 01-000033-01/M21
<b>NOTA</b>	: Incluye bibliografía
<b>ASESOR</b>	: Dr. Wile Mamani Navarro
<b>PALABRA CLAVE</b>	: Adsorción, <i>Musa paradisiaca</i> , plomo, remoción.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**

“ADSORCIÓN DEL PLOMO (Pb) EMPLEANDO BIOMASA DE *Musa paradisiaca*, EN AGUAS PROCEDENTES DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS – AZÁNGARO, 2023”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Presentado por:**

Bach. JUAN RICARDO MAMANI ADCO

**Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:**

**Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo**  
**PRESIDENTE JURADO**

:



**M.Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita**  
**JURADO (Secretario)**

:



**2º MIEMBRO**

**M.Sc. Yesica Magnolia Mamani Arpasi**  
**JURADO (Vocal)**

:



**3º MIEMBRO**



**Dr. Wile Mamani Navarro**  
**ASESOR DE TESIS**

NOMBRE DEL TRABAJO

**“ADSORCIÓN DEL PLOMO (Pb) EMPLEA  
NDO BIOMASA DE Musa paradisiaca, EN  
AGUAS PROCEDENTES DE LA CUENCA D**

AUTOR

**JUAN RICARDO MAMANI ADCO**

RECUENTO DE PALABRAS

**14691 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**85003 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**107 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**10.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 3, 2024 8:26 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 3, 2024 8:28 PM GMT-5**

● **6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación a:

Dios todo poderoso por brindarme salud, vida para seguir adelante y por darme las fuerzas ante los diferentes obstáculos que se me han presentado a lo largo de mi vida y enseñarme que todo es posible si tienes Fé.

Mis padres que son la razón de mi ser; Ricardo Mamani y Agustina Adco; mi hermanita Faviola Maritza, por el apoyo incondicional que me brindan en el transcurso de mi vida cotidiana y en ello la capacidad por superarme, permitiendo aprender más y dar lo mejor en cada paso por este camino difícil y arduo de la vida.

A Lizbeth Quispe Tito que en el andar de la vida nos hemos ido encontrando y recorrió conmigo en todo el proceso de esta investigación y siempre está para brindarme su apoyo incondicional sin dejarme desvanecer y me enseñó a ser más humano.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por el apoyo espiritual, iluminar mi mente y haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

A mis padres por brindarme su fortaleza y apoyo incondicional, en especial a mi madre que gracias por su paciencia, amor y sacrificio durante todo este tiempo fueron indispensables para crecer profesionalmente.

Agradezco de manera especial al Dr. Wile Mamani Navarro por su asesoramiento de mi proyecto de tesis y por su constante apoyo durante todo el proceso de mi investigación.

Agradecimiento especial a la Dra. Eliana Mullisaca Contreras por brindarme su apoyo incondicional y las orientaciones necesarias. Asimismo, agradezco al Ing. German Peralta Julliri por sus valiosas orientaciones en los momentos difíciles.

Expreso mi sincero agradecimiento a mis jurados de revisión de tesis, Dr. Alejandro Taquire Arroyo, M.Sc. Cesar Yupanqui Bendita y M.Sc. Yesica Mamani Arpasi por su tiempo, dedicación y valiosas observaciones han sido fundamentales para mejorar mi trabajo.

A la Universidad Nacional de Juliaca por la oportunidad de realizar mis estudios superiores y brindarme una enseñanza de calidad para formarme como profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPITULO I .....	4
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.1 El problema de investigación.....	4
1.2 La pregunta de investigación .....	5
1.2.1 Problema general .....	5
1.2.2 Problema específico .....	5
1.3 Objetivos de investigación.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos .....	6
1.4 Hipótesis de investigación .....	6
1.4.1 Hipótesis general.....	6
1.4.2 Hipótesis específico .....	6
1.5 Justificación .....	7
CAPITULO II.....	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
2.1 Antecedentes de la investigación.....	9
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	10
2.1.3 Antecedentes locales.....	11
2.2 Marco teórico.....	12
2.2.1 Agua.....	12
2.2.2 Cuenca hidrográfica.....	14

2.2.3 Metales pesados .....	15
2.2.4 Adsorción del plomo (Pb).....	16
2.2.5 Parámetros que influyen en la adsorción de plomo (Pb) .....	17
2.2.6 Biomasa .....	18
2.2.7 Material adsorbente cáscara de plátano de <i>Musa paradisiaca</i> .....	19
2.2.8 Métodos de modificación de adsorbentes .....	23
2.2.9 Porcentaje de adsorción .....	24
2.2.10 Normativa ambiental.....	24
CAPITULO III.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1 Ámbito de estudio.....	25
3.2 Tipo de investigación.....	26
3.3 Población y muestra.....	26
3.3.1 Población .....	26
3.3.2 Muestra .....	26
3.4 Materiales.....	27
3.4.1 Equipos .....	27
3.4.2 Materiales.....	27
3.4.3 Reactivos.....	27
3.4.4 Otros.....	27
3.5 Métodos .....	28
3.5.1 Identificación de lignina de la cáscara de plátano de <i>Musa paradisiaca</i> que actuaran como adsorbente del Pb en aguas de la cuenca del rio Ramis:.....	28
3.5.2 Determinación de la interacción óptima de los factores pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula que influyen en la remoción del Pb de aguas procedentes de la cuenca del rio Ramis: .....	30
3.5.3 Determinación del porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando <i>Musa paradisiaca</i> de aguas procedentes de la cuenca del rio Ramis.....	32

3.6	Análisis estadístico .....	35
3.6.1	Variables .....	35
3.6.2	Diseño experimental .....	35
3.6.3	Procedimiento de prueba de hipótesis .....	37
CAPITULO IV.....		39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		39
4.1	Identificación de la lignina presentes en la biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> .....	39
4.1.1	Análisis por Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR)....	39
4.2	Determinación de la interacción optima de los factores (pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula que influyen en la remoción del Pb de aguas procedentes de la cuenca del rio Ramis: .....	42
4.2.1	Efecto de interacción optima del pH.....	43
4.2.2	Efecto de interacción optima de concentración del adsorbente .....	44
4.2.3	Efecto de interacción optima del tamaño de partícula.....	45
4.2.4	Evaluación de los efectos del pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula .....	46
4.3	Determinación del porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando <i>Musa paradisiaca</i> en las aguas procedentes de la cuenca del rio Ramis - Azángaro.....	48
4.3.1	Turbiedad .....	48
4.3.2	Curva de calibración para el análisis del Pb por espectroscopia de absorción atómica .....	49
4.3.3	Concentración inicial y final del plomo (Pb).....	49
4.3.4	Porcentaje de adsorción (%A) .....	50
4.4	Análisis estadístico .....	52
4.4.1	Diseño factorial $n^k$ .....	52
4.4.2	Análisis de varianza (ANOVA).....	55
4.4.3	Diagrama de Pareto.....	56
4.4.4	Prueba de normalidad .....	57

4.4.5 Grafica de interaccion triple .....	59
4.4.6 Prueba de hipótesis .....	60
CAPITULO V .....	61
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1 Conclusiones.....	61
5.2 Recomendaciones .....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS .....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Tipos de biomasas naturales usadas para la preparación de adsorbentes. ....	18
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía de la <i>Musa paradisiaca</i> .....	19
<b>Tabla 3.</b> Composición química de la cascara de plátano. ....	22
<b>Tabla 4.</b> Composición química del plátano.....	22
<b>Tabla 5.</b> Métodos de modificación de adsorbentes en su estado natural .....	23
<b>Tabla 6.</b> Puntos de muestreo en la cuenca del río Ramis – Azángaro. ....	33
<b>Tabla 7.</b> Diseño factorial de 3 factores. ....	36
<b>Tabla 8.</b> Grupos funcionales existentes.....	41
<b>Tabla 9.</b> Datos estadísticos para el análisis factorial.....	42
<b>Tabla 10.</b> Resultados del análisis de la turbiedad del agua de la cuenca del río Ramis.....	48
<b>Tabla 11.</b> Curva de calibración para el análisis del Pb por espectroscopia de absorción atómica.....	49
<b>Tabla 12.</b> Concentración inicial y final del plomo (Pb).....	50
<b>Tabla 13.</b> Porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb) en los tratamientos experimentales.50	
<b>Tabla 14.</b> Identificación de variables y niveles.....	53
<b>Tabla 15.</b> Matriz de diseño factorial .....	54
<b>Tabla 16.</b> Prueba de normalidad .....	57
<b>Tabla 17.</b> Resultados finales de la concentración del plomo (Pb) .....	92
<b>Tabla 18.</b> Operacionalización de variables .....	94
<b>Tabla 19.</b> Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. ....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico. ....	16
<b>Figura 2.</b> Formula química de la celulosa.....	21
<b>Figura 3.</b> Formula química de la hemicelulosa.....	21
<b>Figura 4.</b> Formula química de la lignina.....	21
<b>Figura 5.</b> Mapa de ubicación geográfica de la cuenca del río Ramis – Azángaro.....	25
<b>Figura 6.</b> Diagrama del proceso de preparación de la biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> .....	29
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de la adsorción del plomo en aguas de la cueca del río Ramis .31	
<b>Figura 8.</b> Puntos de muestro en la cuenca del río Ramis – Azángaro.....	33
<b>Figura 9.</b> Análisis por Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier.....	40
<b>Figura 10.</b> Efecto del pH.....	43
<b>Figura 11.</b> Efecto de concentración del adsorbente .....	44
<b>Figura 12.</b> Efecto del tamaño de partícula .....	45
<b>Figura 13.</b> Gráfico de efectos principales para porcentaje.....	46
<b>Figura 14.</b> Matriz gráfica de interacción para porcentaje .....	47
<b>Figura 15.</b> Gráfico de la curva de calibración.....	49
<b>Figura 16.</b> Porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb) en tratamientos experimentales .....	51
<b>Figura 17.</b> Porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb).....	52
<b>Figura 18.</b> Software estadístico R-Studio .....	53
<b>Figura 19.</b> Análisis de varianza.....	55
<b>Figura 20.</b> Diagrama de Pareto .....	56
<b>Figura 21.</b> Diagrama prueba de normalidad .....	58
<b>Figura 22.</b> Gráfica de interacción triple - cubo .....	59
<b>Figura 23.</b> Recolección y clasificación de la muestra de <i>Musa paradisiaca</i> .....	75
<b>Figura 24.</b> Lavado y trozado de la cascara de la <i>Musa paradisiaca</i> .....	75
<b>Figura 25.</b> Secado de la <i>Musa paradisiaca</i> .....	76
<b>Figura 26.</b> Molido de la <i>Musa paradisiaca</i> .....	76
<b>Figura 27.</b> Tamizado de la <i>Musa paradisiaca</i> .....	77
<b>Figura 28.</b> Almacenado de la <i>Musa paradisiaca</i> .....	77
<b>Figura 29.</b> Pesado de la <i>Musa paradisiaca</i> de 10 y 20 gramos en la balanza analítica .....	82
<b>Figura 30.</b> Se hidrato a 0.01 N de Nitrato de Sodio $NaNO_3$ la <i>Musa paradisiaca</i> .....	82

<b>Figura 31.</b> Variación del pH a 4 y 6 con hidróxido de sodio NaOH y ácido clorhídrico HCl a 0.1N .....	83
<b>Figura 32.</b> Mezcla del adsorbente <i>Musa paradisiaca</i> con la muestra de agua contaminada..	83
<b>Figura 33.</b> Primera y segunda agitación de la <i>Musa paradisiaca</i> y agua contaminada a 150 RPM durante 60 minutos a una temperatura de 16+2 °C .....	84
<b>Figura 34.</b> Filtrado de las soluciones con papel Whatman N° 40.....	84
<b>Figura 35.</b> Puntos de muestreo en la cabecera de la cuenca del rio Ramis – Azángaro .....	85
<b>Figura 36.</b> Puntos de muestreo en la parte baja de la cuenca del rio Ramis – Azángaro .....	85
<b>Figura 37.</b> Método aplicado para el análisis de agua acreditado por Bhios Laboratorios .....	86
<b>Figura 38.</b> Proceso de medición de la turbiedad final para los 24 tratamientos .....	90
<b>Figura 39.</b> Proceso de colocación de las muestras en el Espectrofotómetro .....	90
<b>Figura 40.</b> Proceso de lectura de la concentración final del plomo .....	91
<b>Figura 41.</b> Proceso de análisis en el Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	91

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1.</b> Identificación de lignina de la biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> .....	75
<b>Anexo 2.</b> Resultados del análisis de identificación de la <i>Musa Paradisiaca</i> mediante la FTIR.....	78
<b>Anexo 3.</b> Determinación de la interacción óptima de los factores pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula.....	82
<b>Anexo 4.</b> Recolección de muestras de agua de la cuenca del río Ramis – Azángaro.....	85
<b>Anexo 5.</b> Determinación de la turbiedad inicial y final del agua .....	86
<b>Anexo 6.</b> Hoja de custodia de envío de muestra.....	87
<b>Anexo 7.</b> Informe de ensayos del análisis inicial de concentración del plomo (Pb) .....	88
<b>Anexo 8.</b> Determinación de la concentración final del plomo (Pb) .....	90
<b>Anexo 9.</b> Resultados finales de la concentración del plomo (Pb) .....	92
<b>Anexo 10.</b> Solicitud del uso de equipos y materiales del laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca – UNAJ .....	93
<b>Anexo 11.</b> Operacionalización de variables .....	94
<b>Anexo 12.</b> Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. ....	94
<b>Anexo 13.</b> Matriz de consistencia.....	98

## RESUMEN

La contaminación del agua en la cuenca del río Ramis es producto de actividades mineras, lo que ha generado una preocupación ambiental, estas actividades emiten altas concentraciones de metales pesados y vienen afectando al recurso hídrico en la Región de Puno. En ese contexto, se tiene por objetivo determinar la adsorción del plomo (Pb) empleando cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en aguas del tramo río Azángaro de la cuenca Ramis. Para lo cual, se aplicó una metodología experimental, identificando la presencia de lignina en la cáscara de plátano, siguiendo los lineamientos mediante el método de la norma ASTM E1252-98-2021 Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR); posterior a ello se realizó un muestreo aleatorio simple el cual nos permitió recoger 4 muestras representativas de la cuenca para la determinación de la concentración inicial del plomo (Pb); seguidamente se aplicó el diseño experimental  $n^k$ , obteniendo 8 tratamientos con tres factores y dos niveles, pH (4 y 6), cantidad del adsorbente (10g y 20g) y tamaño de partícula (212 $\mu$ m y 150 $\mu$ m), posteriormente se determinó la concentración final del plomo (Pb) de agua del río Azángaro de la cuenca Ramis mediante el método EPA Method 200.7 Rev. 4.4 (Espectrofotometría de absorción atómica). Los resultados de la identificación de lignina mediante la FTIR reportaron que en la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* se identificó grupos carboxílicos, radicales OH-, indicando presencia de celulosa, compuestos pecticos, proteínas, hemicelulosas, y lignina. Por otro lado, el mejor tratamiento para la adsorción del plomo (Pb) empleando cáscara de plátano fue para un pH 6, concentración de adsorbente 20g y tamaño de partícula 150 $\mu$ m logrando reducir la concentración del metal plomo (Pb) de 1.2425 mg/L a 0.0325 mg/L, lo que representa un valor del 97.38% de adsorción, indicando que estos factores influyen significativamente en el proceso de adsorción del plomo (Pb). Finalmente se concluye que para un pH 6, moderadamente ácidos existe movilidad de metales pesados y mayor porcentaje de remoción, y a mayor concentración del adsorbente de la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* y partículas inferiores a 150 $\mu$ m existe mayor porcentaje de adsorción del plomo (Pb). Por lo que, esta tecnología aplicada para el tratamiento de efluente resulta ser viable, ecológica, económicamente factible y sostenible con el medio ambiente.

**Palabras clave:** Adsorción, *Musa paradisiaca*, plomo, remoción.

## ABSTRACT

Water pollution in the Ramis River basin is the result of mining activities, which has raised environmental concerns, these activities emit high concentrations of heavy metals, affecting the water resources in the Puno Region. In this context, the objective is to determine the adsorption of lead (Pb) using banana peels (*Musa paradisiaca*) in the waters of the Azángaro River section of the Ramis basin. For this purpose, an experimental methodology was applied, identifying the presence of lignin in the banana peel, following the guidelines of the ASTM E1252-98-2021 standard method for Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR); subsequently, a simple random sampling was conducted, which allowed us to collect 4 representative samples from the basin to determine the initial concentration of lead (Pb); next, the  $n^k$  experimental design was applied, resulting in 8 treatments with three factors and two levels: pH (4 and 6), amount of adsorbent (10g and 20g), and particle size (212 $\mu$ m and 150 $\mu$ m), subsequently, the final concentration of lead (Pb) in the water from the Azángaro River in the Ramis basin was determined using the EPA Method 200.7 Rev. 4.4 (Atomic Absorption Spectrophotometry). The results of lignin identification using FTIR reported that carboxylic groups, OH- radicals were identified in the banana peel of *Musa paradisiaca*, indicating the presence of cellulose, pectic compounds, proteins, hemicelluloses, and lignin. On the other hand, the best treatment for lead (Pb) adsorption using banana peel was at a pH of 6, an adsorbent concentration of 20g, and a particle size of 150 $\mu$ m, achieving a reduction in lead (Pb) concentration from 1.2425 mg/L to 0.0325 mg/L, which represents an adsorption value of 97.38%, indicating that these factors significantly influence the lead (Pb) adsorption process. Finally, it is concluded that at a pH of 6, which is moderately acidic, there is mobility of heavy metals and a higher removal percentage, additionally, with a higher concentration of *Musa paradisiaca* banana peel adsorbent and particle sizes smaller than 150 $\mu$ m, there is a greater percentage of lead (Pb) adsorption. Therefore, this technology applied to effluent treatment proves to be viable, environmentally friendly, economically feasible, and sustainable

**Keywords:** Adsorption, *Musa paradisiaca*, lead, removal.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe una preocupación medio ambiental en el Perú, puesto que el agua es uno de los recursos naturales más afectados por las actividades antropogénicas (Miranda, 2012), siendo este el más peligroso en consecuencia, del crecimiento poblacional y la creciente contaminación por metales pesados, pone en riesgo la salud humana y calidad de vida (Vasquez, 2021). Entre las principales fuentes de contaminación antropogénica, están las actividades mineras que no solo ha generado el importante beneficio de divisas y el desarrollo tecnológico de esta actividad (Albarracin, 2014), sino que también emiten alta carga de metales pesados al medio ambiente, tales como el plomo (Pb) que presenta un riesgo a los ecosistemas acuáticos por su persistencia, solubilidad y toxicidad (Riveros & Huaman, 2022).

Es una preocupación mundial la contaminación de dichas fuentes con metales pesados y hace pocas décadas Wan et al., (2020) y Chen et al., (2019), indican que alguno de estos iones es capaz de ser incorporados, almacenados y concentrados en los organismos vivos. Sin embargo, se han implementado tecnologías para el tratamiento de efluentes con metales pesados como es el plomo (Pb), mediante biomasa vegetales, residuos agrícolas, microorganismos, etc. Debido a su alta eficiencia y simplicidad de operación (Brudey et al., 2016) y (Gapusan & Balela, 2020). Estos adsorbentes de origen biológico contienen grupos funcionales hidroxilo (OH), carbonilo (CO), carboxilo (COOH), que representan presencia de lignina capaz de formar enlaces con iónicos metálicos, lo que permite adsorberlos en la superficie del material adsorbente provocando inmovilización del metal plomo (Pb) en el agua (Vera & Brito, 2018).

La cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) tienen una gran capacidad de uso como adsorbente prometedor para la adsorción de iones del plomo, debido a sus grupos funcionales carboxílicos, polifenólicos, alcohólicos y cetónicos donde estudios anteriores han comprobado que la cáscara de plátano posee una capacidad significativa para eliminar contaminantes como el Cr (Zhang et al., 2020), Pb (Koksharov et al., 2019) y Ni (Tejada et al., 2015) de una solución acuosa. Los adsorbentes preparados con materiales naturales y baratos no suelen tener impactos negativos en el medio ambiente (Menezes et al., 2020). En ese contexto, la presente investigación tiene por objetivo general determinar la adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca*. en la cuenca del río Ramis – Azángaro; cuyos resultados permitirán la remoción de un ion de metal pesado como es el plomo (Pb) en soluciones acuosas, además de la rapidez con la que se remueve y el porcentaje de adsorción logrado (Miranda, 2012).

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 El problema de investigación

A nivel mundial la contaminación del agua es producto de las actividades naturales, estaciones depuradoras y antropogénicas, siendo este el más peligroso debido al crecimiento poblacional y creciente contaminación por metales pesados viene afectando al recurso hídrico, y en consecuencia afecta a la salud y la calidad de vida (Vasquez, 2021). Entre las principales fuentes de contaminación antropogénica, están las actividades mineras, prácticas agrícolas que emiten alta carga de metales pesados al medio ambiente, tales como el plomo (Pb) cuya presencia representa un riesgo en los ecosistemas acuáticos por su persistencia, solubilidad y toxicidad (Riveros & Huaman, 2022).

En Latinoamérica la situación hídrica es alarmante, ya que alberga casi un tercio del recurso agua a nivel mundial, ello debido a que 166 millones de personas no cuentan con acceso al agua potable y el 50% de las aguas residuales no son tratadas de forma adecuada y más aún las temperaturas extremas y sequías amenazan con el abastecimiento de agua en los próximos años (Fernandez & Mortier, 2005). Dado a ello existen diferentes investigaciones que hacen uso de la biomasa de *Musa paradisiaca* (Johnson et al., 2023), Tuna (Miranda, 2012), aguacate (Hernandez et al., 2020), yuca (Osorio et al., 2017) y naranja (Osorio et al., 2017), aplicadas como tecnología para la adsorción de metales pesados, este proceso hace uso de los grupos funcionales hidroxilo, grupo metoxi, grupos alcanos, fosfatos, ácidos carboxílicos, polifenólicos, cetónicos y radicales OH<sup>-</sup> para la adsorción, formando compuestos organometalicos que permiten su precipitación en el medio (Vera & Brito, 2018).

En el Perú la contaminación por metales pesados en el medio acuoso es un problema que concierne al ser humano (Vilela et al., 2020). Entre estos tenemos el plomo (Pb) que es un metal pesado que presenta alta solubilidad y es uno de los principales componentes de los residuos mineros, según Cornejo & Pacheco, (2009) y Apaza, (2020) reportaron concentraciones por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en la categoría 1, 2 y 3 y subcategoría A, con un 1.076 mg/L y 0.1256 mg/L de plomo en el tramo del río Azángaro de la cuenca Ramis el cual tiene un efecto negativo en las actividades socioeconómicas de la región y ponen en riesgo la salud humana, de los seres vivos que

habitan en el ecosistema contaminado incluyendo a los seres humanos. Ante ello, se investigan tecnologías para la remediación de aguas, ya que las existentes resultan ser altamente costosas y no amigables con el medio ambiente, siendo la tecnología de adsorción con biomasa de *Musa paradisiaca* una alternativa económica, sostenible con el medio ambiente y fácilmente aplicable para la remediación de aguas contaminadas por metales pesados (Tejeda, et al., 2014).

En el altiplano, el tramo del río Azángaro de la cuenca Ramis sufre contaminación por metales pesados, en una concentración de 1.2425 mg/L de plomo (Pb) según resultados de análisis de ensayos N° 7380-2023 realizado en BHIOS Laboratorio acreditado por el organismo de acreditación INACAL, dando a conocer que los valores obtenidos superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en la categoría 1, subcategoría A) Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, debido a las actividades mineras realizadas en la cabecera de la cuenca del río Azángaro (minería San Rafael), además es uno de los principales afluentes del lago Titicaca que contiene contaminantes orgánicos e inorgánicos (Flores, 2018). Dado ello la *Musa paradisiaca*, resulta ser una tecnología viable para la adsorción del plomo (Pb), ya que presenta radicales OH<sup>-</sup> en la estructura capaces de formar enlaces con iónicos metálicos (Vera & Brito, 2018), lo que permite adsorberlos en la superficie del material bioadsorbente provocando inmovilización del metal en el agua (García, 2016).

## **1.2 La pregunta de investigación**

### **1.2.1 Problema general**

¿Tendrá la biomasa de *Musa paradisiaca* alto porcentaje de adsorción de plomo (Pb) variando el pH, concentración de adsorbente y tamaño de partícula en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis?

### **1.2.2 Problema específico**

- ¿Actuara la lignina de *Musa paradisiaca* en la adsorción del plomo (Pb) en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis?
- ¿Cuáles serán los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula que influyen en el porcentaje de adsorción del plomo (Pb) con *Musa paradisiaca* en aguas del río Azángaro de la cuenca Ramis?
- ¿Cuál será el porcentaje de adsorción del plomo (Pb) de aguas procedentes del tramo río Azángaro de la cuenca Ramis?

### **1.3 Objetivos de investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca* con variación del pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar la lignina de la cascara de plátano (*Musa paradisiaca*) que actúa como adsorbente del plomo (Pb) en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis.
- Determinar la interacción óptima de los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula de la *Musa paradisiaca* que influyen en la remoción del plomo (Pb) en aguas procedentes de la cuenca del río Ramis.
- Determinar el porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca* en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca del río Ramis.

### **1.4 Hipótesis de investigación**

#### **1.4.1 Hipótesis general**

- La cascara de plátano de *Musa paradisiaca* posee alto porcentaje de adsorción variando el pH, concentración de adsorbente y tamaño de partícula en aguas contaminadas con plomo (Pb), con una eficiencia de adsorción mayor al 70%.

#### **1.4.2 Hipótesis específico**

- La identificación de lignina de la biomasa de *Musa paradisiaca* que actúan en la adsorción del plomo (Pb) son los radicales hidroxilos el cual podrá ser determinado por Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier.
- Los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de la partícula son los que influyen significativamente en la adsorción del metal plomo (Pb).
- La adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca* presenta un 65% de eficiencia de remoción.

## 1.5 Justificación

Investigaciones científicas anteriores han demostrado que la cascara de plátano de *Musa paradisiaca* tiene una alta eficiencia en la adsorción de metales pesados debido a su capacidad de remover iones del metal pesado como es el plomo (Pb) en soluciones acuosas (Ashfaq et al., 2021), por lo que en esta investigación se empleó esta técnica como una alternativa para el tratamiento de aguas contaminados con metales pesados, teniendo en cuenta que la lignina es considerado como un adsorbente natural excelente para los iones de metal debido a la presencia de grupos amino (-NH<sub>2</sub>) e hidroxilo (-OH) (Vera & Brito, 2018). Además, que se contribuye a presentar alternativas para el manejo de residuos sólidos agroindustriales.

La presencia de metales pesados en el agua constituye un problema ambiental y de riesgo a la salud humana (Vasquez, 2021), esto debido a que las actividades mineras que diariamente vierten concentraciones elevadas de contaminantes como es el caso del plomo (Pb) y otros metales pesados hacia cuerpos de agua, afectando severamente su calidad natural y perjudicando el bienestar ambiental trófico del ecosistema acuático, por ello la presente investigación por medio de esta tecnología en el aspecto ambiental, busca aprovechar la cascara de plátano de *Musa paradisiaca*, en el tratamiento de aguas contaminadas por plomo (Pb) en el río Azángaro, el cual es uno de los tramos de la cuenca del río Ramis.

El problema de aplicar procesos complicados y económicamente poco convenientes ha orientado la búsqueda de métodos más baratos renovables, de fácil aplicación y amigables con el medio ambiente (Tejeda, et al., 2014). Por ello en esta investigación la biomasa de *Musa paradisiaca* en el aspecto económico, resulta ser viable y económicamente factible, teniendo en cuenta que los métodos convencionales para el tratamiento de efluentes con metales pesados como es el plomo (Pb) tienen un costo muy elevado, de esta manera se pretende reducir la contaminación por el metal plomo (Pb) y otros metales pesados que se encuentra en las aguas de la cuenca del río Ramis.

En el aspecto tecnológico, una de las últimas generaciones que se vienen usando para la descontaminación de efluentes con metales pesados es la adsorción y se hace mucho más prometedor cuando se utilizan biomasas como la cascara de plátano (*Musa paradisiaca*), generándose una tecnología nueva para poder remediar efluentes contaminados con metales pesados como es el plomo (Pb) (Johnson et al., 2023) y mediante esta

investigación se establece una tecnología adecuada para llevar a cabo estos procesos de adsorción, que son más óptimos que otras metodologías.

Finalmente, en el aspecto social, debido al crecimiento poblacional se han incrementado de manera significativa los impactos sobre los recursos hídricos de forma negativa (Montañez, 2021), por ello se empleó esta metodología a través de la cascara de plátano (*Musa paradisiaca*) de tal manera disminuir las concentraciones del metal plomo (Pb) y otros metales pesados en aguas del tramo río Azángaro de la cuenca Ramis, ofreciendo una alternativa de solución hacia la problemática ambiental que está deteriorando la salud de la población que se abastece de este recurso para la realización de sus actividades y así evitando problemas por el consumo de agua con elevadas concentraciones de metales pesados.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Johnson et al., (2023) en la investigación eliminación simultánea de As y Pb utilizando materiales modificados altamente eficientes biocarbón deshidratado elaborado a partir de cáscara de plátano mediante síntesis hidrotermal, estudiaron los valores óptimos para la eliminación de As y Pb, los cuales fueron un pH de 7, tiempo de 24h y concentración del adsorbente 1g, logrando una remoción de 98.7% (PBPB-As) y 90.3% (MBPB-Pb) respectivamente, donde para el análisis estadístico se aplicó cinética de pseudo segundo orden con el modelo de Langmuir y Freundlich.

Barrera et al., (2023) en la investigación adsorción de cromo (Cr) y plomo (Pb) sobre biomasa seca de *Kluyveromyces marxianus* CCEBI 2011, estudiaron los valores óptimos para la remoción de cromo (Cr), los cuales fueron un pH de 6.0 y concentración de biomasa 20 mg/L, para la remoción del plomo (Pb) un pH de 6.0 y 10.0 mg/L de concentración de biomasa, logrando una remoción del 94.9% y 99.4%, respectivamente, evidenciando que para esas condiciones experimentales el proceso de adsorción es de naturaleza química.

Ashfaq et al., (2021) en la investigación adsorción eficiente de iones de plomo de aguas residuales sintéticas utilizando biomasa mixta a base de residuos agrícolas (cáscaras de papa y cáscaras de plátano), estudiaron los valores óptimos para la adsorción del plomo (Pb), los cuales fueron un pH de 5, concentración inicial de 10ppm, dosis de adsorbente de 1g y un tiempo contacto de 2h, logrando una eficiencia de adsorción del 95.6%.

Mohamed et al., (2020) en la investigación adsorción de metales pesados en bioadsorbente de cáscara de plátano, estudiaron los valores óptimos para la eficiencia de remoción de plomo (Pb) y hierro (Fe), los cuales fueron bioadsorbente de 0.1g y un tiempo de 3 h, a una temperatura ambiente, logrando una eficiencia máxima de eliminación de iones del metal plomo (Pb) y hierro (Fe), del 100 y 64% respectivamente.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Gurreonero, (2023) en su investigación efecto del tamaño de partícula, concentración y velocidad de agitación en la adsorción de plomo (Pb) y cromo (Cr) empleando cascara de plátano (*Musa paradisiaca*), estudio los valores óptimos para la adsorción del plomo (Pb) y cromo (Cr), los cuales fueron concentración de biomasa de 0.8 g/L, velocidad de 200 RPM y un tamaño de partícula de 250  $\mu\text{m}$ , logrando una remoción del 99.37 y 99.51% respectivamente. Por otro lado, para valores de 0.4g de concentración de biomasa, velocidad de 400RPM y tamaño de partícula 600 $\mu\text{m}$  tuvo resultados inferiores al 95%.

Montañez, (2021) en su investigación adsorción del plomo (II) usando cascara de plátano *Musa paradisiaca* en aguas contaminadas, estudio los valores óptimos para la mejor adsorción del plomo (II) , los cuales fueron un pH de (4 y 6), tiempo de 50 minutos y un diámetro de partícula de 150 $\mu\text{m}$  212 $\mu\text{m}$ , logrando un porcentaje de remoción del 97.50%. para un pH 4 y 6 y tamaño de partícula de 212  $\mu\text{m}$ , por otro lado, el modelo matemático que mejor se ajustó a los datos experimentales fue la ecuación de Freundlich.

Vejarano et al., (2018) en la investigación adsorción de plomo (Pb) de aguas contaminadas mediante cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) estudiaron los valores óptimos para la remoción del plomo (Pb), los cuales fueron tiempo de contacto de (30, 60 y 90) min y tamaño de partícula de (250, 425 y 850)  $\mu\text{m}$ , teniendo un valor óptimo de 30 minutos y un tamaño de partícula de 250 $\mu\text{m}$  logrando remover el metal plomo en más del 98%.

Chalco, (2018) en su investigación adsorción de plomo (Pb) y cobre (Cu) con biomasa de cáscara de plátano "*Musa paradisiaca*" en efluentes de la unidad minera Carahuacra, Yauli - La Oroya, estudio los valores óptimos para la remoción del plomo (Pb), los cuales fueron un pH de 3, tiempo de agitación 2 horas y una dosis de 1g de bioadsorbente, logrando una remoción del 96.72%, mientras para la remoción del cobre (Cu) los valores fueron un pH de 3, tiempo 1 hora y una dosis de 2 g de adsorbente, logrando una remoción del 97.47%.

### 2.1.3 Antecedentes locales

Ordoño, (2020) en su investigación, remoción de cobre (II) y arsénico (V) de aguas residuales de mina, por adsorción con zeolita natural, estudio los valores óptimos de los parámetros que influyeron más en la remoción de cobre y arsénico, las cuales fueron cantidad de adsorbente, pH y tiempo de agitación, la cantidad del adsorbente es de 2 g/L para el Cu (II) y As (V), el tiempo es de 30 minutos para el Cu (II) y 70 minutos para el As (V), y el pH óptimo es de 5.5 y 6.2 respectivamente, logrando una remoción del 99.36% de Cu (II) y 52.78% de As (V).

Ayqui, (2019) en su investigación adsorción de Pb (II) mediante aserrín Xantado de las aguas del río Jatun Ayllu Ocuwiri-Puno, estudio los valores óptimos de pH de 4.5, 6.5 y 8.1 cantidad de adsorbente 0.5, 1 y 1.5 gramos y tiempo de adsorción 30, 60 y 120 minutos, para la adsorción de plomo (II), donde el mayor porcentaje de adsorción se dio para una dosis de 1.5g de aserrín xantado a pH de 4,5 y a 60 revoluciones por minuto con un tiempo de agitación de 90 minutos logro el 99.10% de adsorción del metal plomo (II).

Aguirre, (2017) en su investigación adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) estudio la combinación de factores para obtener mejores resultados, las cuales fueron un pH de 4.97 y 5.6, cantidad de carbón activado 2 g y tiempo de agitación 75 y 120 minutos a una revolución constante de 300 rpm respectivamente, logrando un porcentaje de remoción del 98.7 % Pb (II) y 70.3% de As (V).

Albarracin, (2014) en su investigación capacidad de adsorción para remover el ion metálico Pb (II) por el tanino de la cáscara de Tarwi (*lupinus mutabilis sweet*), de las aguas del río Ramis Puno, estudio la mejor combinación de factores para obtener mejores resultados, las cuales fueron pH de 5.5, una masa de 0.1g y un tiempo de 60 minutos utilizando el método complexométrico, logro un porcentaje de remoción del 96.21%. Donde existe mayor porcentaje de remoción en pH ácidos y a mayores cantidades de biomasa de cascara de Tarwi.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Agua

Según la Autoridad Nacional del Agua (2016), el agua, es la sustancia fundamental para la supervivencia de la vida, y es definido como un recurso natural renovable, vulnerable, indispensable para la vida y estratégico para el desarrollo sostenible. El agua es un componente de nuestra naturaleza y ocupa las tres cuartas partes de la superficie del planeta, donde un aproximado del 98%, corresponde al agua salada que se encuentra en mares y océanos, asimismo el 69% de agua dulce que poseemos corresponde al agua atrapada en glaciares y nieves, un 30% está constituido por aguas subterráneas y una cantidad no superior al 0.7% se encuentra en forma de ríos y lagos (Loarte & Sanabria, 2015).

El agua es un agente íntimamente vinculado a la vida en todas sus formas, que se mueve sobre la superficie terrestre en respuesta a las fuerzas de gravedad, labrando cauces y confluendo en las partes más bajas del relieve (Burgos et al., 2015). Además, el agua es un líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formado por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno y es de vital importancia para la vida en la tierra y es el recurso que presenta un 70% en la superficie de la tierra, su disponibilidad es menor debido a su contaminación por diversos medios lo cual representa un desequilibrio ambiental, económico y social (Vera & Brito, 2018).

#### a) Calidad del agua

La calidad de agua son condiciones en que se encuentra el agua respecto a las características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el ser humano (Acevedo, 2021). Esto está influenciado por una serie de factores importantes, como la petrología de la cuenca, la contribución atmosférica, las condiciones climáticas y la contribución humana (Vásquez, 2017). La calidad física y química del agua depende de la identificación de ciertos químicos que pueden afectar la salud después de períodos cortos o largos de exposición (Inofuentes, 2020), y si hablamos de indicadores de calidad del agua, estos incluyen una serie de parámetros, principalmente físicos, químicos y en algunos casos microbiológicos, lo que permite reducir la información a una simple expresión, conocida como: Índices de calidad del agua (ICA) e Índices de contaminación del agua (ICO) (Arias, 2018).

**b) Importancia del agua**

El agua además de ser un recurso natural de vital importancia para la supervivencia de la humanidad y para el desarrollo de la sociedad, es también parte importante del entorno ecológico (López & Gil, 2020). El agua es un factor esencial para los ecosistemas, producción agrícola, procesos industriales, generación de la energía eléctrica, disolución de contaminantes, asimismo son elementos fundamentales del desarrollo sostenible y pilares de la salud humana y el bienestar (Deng et al., 2015).

**c) Contaminación del agua**

La contaminación de cuerpos de agua de ríos, lagos, océanos y agua subterránea sucede cuando los contaminantes son descargados en cuerpos de agua sin un adecuado tratamiento que remueva los componentes dañinos (Loarte & Sanabria, 2015).

La contaminación del agua es un cambio que generalmente es causado directa o indirectamente por las actividades humanas que causan la presencia de sustancias químicas, orgánicas e inorgánicas en el agua (ríos, lagos y océanos) (García, 2017). La contaminación de estas aguas mediante sustancias tóxicas, como ácidos, solventes orgánicos, metales y demás derivados de actividades industriales, agrícolas, ganaderas, pesqueras, recreativas y domésticas afecta a las plantas, organismos que viven en estos en estos cuerpos y a los seres humanos, haciendo que dicha ya no sea apto para el consumo humano (Velóz, 2018).

**d) Causas de la contaminación del agua**

Una de las fuentes de estos contaminantes son los insumos mineros tales como desarrollo de minas, procesamiento de minerales, desechos mineros, fugas de presas de relaves, y actividades agrícolas (Minga et al., 2023). Nuestro país es rico en recursos minerales que conducen a la minería legal e ilegal, sin embargo, el incremento de la minería ilegal en nuestro país viene siendo de mucho tiempo atrás, en general, todos los ríos en las zonas cercanas a los centros mineros se ven afectados, ya que todas las minerías vierten relaves mineros contaminados a los ríos, generando una contaminación del agua y suelo por metales pesados (Godoy, 2020).

### **2.2.2 Cuenca hidrográfica**

Una cuenca hidrográfica desde el punto de vista hidrológico, es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica, que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (Vásquez et al., 2016). Por otro lado, una cuenca hidrográfica es un sistema abierto a flujos, influencias y líneas de acción que traspasan sus límites; es decir que puede recibir y dar (Pinto & Liber, 2016). Asimismo, una cuenca hidrográfica representa solo una porción limitada de la superficie terrestre.

#### **a) Cuenca Ramis**

El río Ramis es el río más largo de la cuenca del Titicaca y nace en las cercanías del nevado Ananea, nevado Ninacuyo y la laguna La Rinconada a 5828 msnm, con el nombre de río Carabaya, haciendo un recorrido de acuerdo al sistema hidrográfico cerca de Progreso recibe el aporte de Quenamari formando el río Azángaro y aguas abajo este confluye con el río Pucara y pasa a llamarse río Ramis por 32 kilómetros hasta el lago Titicaca donde desemboca, pero desde su nacimiento hasta la desembocadura en el Titicaca recorre 299 kilómetros aproximadamente (Alvarez, 2018).

Características de la cuenca del río Ramis es el:

- ✓ Más largo de la región de Puno con 320 km
- ✓ Más caudaloso
- ✓ Más contaminado especialmente por la minería informal
- ✓ De más uso pecuario ya que son usados para las irrigaciones

#### **b) Lago Titicaca**

El lago Titicaca se encuentra ubicado en el sur del Perú y noreste de Bolivia con coordenadas  $14^{\circ} 05'$  y  $16^{\circ} 50'$ . De longitud norte y  $68^{\circ} 10'$  y  $71^{\circ} 05'$  de longitud este (MINAM, 2013). Es el segundo lago más grande de Sudamérica con una superficie total de  $8400 \text{ km}^2$ , donde el 55% le corresponde a Perú y el 45% al estado de Bolivia; es un receptor de agua dulce importante del altiplano y es considerado un ecosistema frágil y ecológica ambientalmente (Ocola & Laqui, 2013). La cuenca Ramis, Suches, Huancané, Coata e Ilave descargan sus aguas en el Lago Titicaca (Ocola & Laqui, 2013).

### **2.2.3 Metales pesados**

Los metales pesados son un conjunto de elementos que presentan propiedades metálicas, en el que se incluyen metales de transición, algunos semimetales, lantánidos y actínidos (Covarrubias & Peña, 2017). Los metales pesados se consideran unos de los contaminantes más tóxicos en el ambiente por tener efectos nocivos a nivel de toda la cadena trófica, en especial el plomo, cromo, mercurio, cobre, zinc, cadmio, arsénico y otros metales son relevantes debido su persistencia y toxicidad (García et al., 2002). Todos los metales pueden dar lugar a problemas de contaminación ambiental, el cual existen de forma natural en rocas, suelos, agua y aire o por acción antrópica, la actividad humana ha hecho que se incrementen las cantidades de metales, creando así serios problemas medioambientales a nivel local, nacional e internacional (Londoño et al., 2016).

#### **a) Plomo (Pb)**

El plomo es un metal pesado que se encuentra de forma natural en el medio ambiente, la corteza terrestre y como también se encuentra en sales, óxidos y diversos compuestos organometálicos (Bellido, 2018). El plomo resulta altamente tóxico y puede acumularse en los organismos vivos por no tener una función biológica definida (Mercado et al., 2009). Siendo la absorción oral de plomo, una grave amenaza para la salud pública, con efectos que pueden retrasar el desarrollo mental en niños, hipertensión y enfermedades cardiovasculares en adultos (Rivera, 2021).

#### **b) Contaminación del agua por plomo (Pb)**

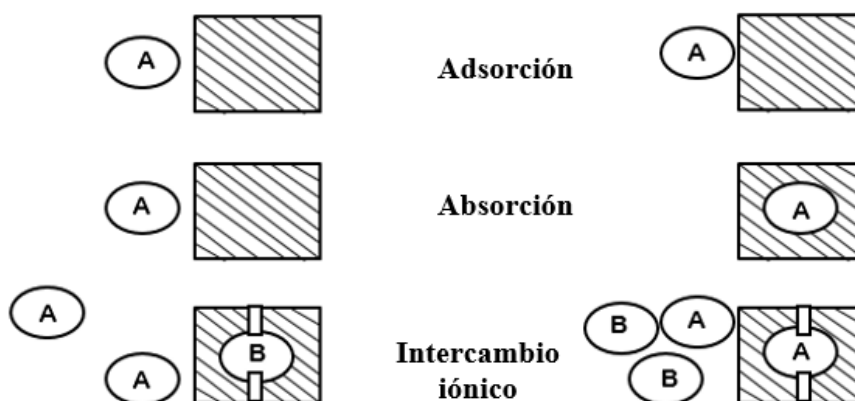
La contaminación del agua es una alteración por sustancias tóxicas o derrame de fluidos que ocasionan la mala calidad del agua, dichas sustancias pueden ser físicas, químicas o biológicas (Rivera, 2021), o la presencia de metales pesados como el metal plomo (Pb) que son vertidos en estas aguas por el refinamiento de los productos mineros en su mayoría sin un adecuado tratamiento, siendo el metal plomo (Pb) uno de los metales más peligrosos debido a que no son degradables química o biológicamente, también se bioacumulan y producen efectos tóxicos (Velásquez, 2018).

### c) **Importancia del análisis de los metales pesados**

Los metales pesados se consideran toxinas ambientales potenciales siendo sus propiedades más comunes la persistencia, bioacumulación, biotransformación y alta toxicidad, esto significa que persisten en el ecosistema durante mucho tiempo porque son difíciles de descomponer de forma natural (Rodríguez, 2017). La presencia de estos metales pesados en los recursos hídrico trae casos delicados de intoxicación, efectos en la salud es por ello que es importante realizar estudios sobre la remoción de los metales pesados en medios acuáticos, donde se puede aplicar métodos físico químicos como: filtración, osmosis, adsorción precipitación química, intercambio iónico y ultra centrifugación (Cerna & Elias, 2015).

#### 2.2.4 Adsorción del plomo (Pb)

La adsorción es un proceso en el cual se extrae materia de una fase y se concentra en la superficie de otra fase. Este proceso depende de las propiedades de los compuestos a extraer, las características del adsorbente y las condiciones de contacto entre las fases fluida y sólida. La sustancia que se acumula en la superficie se denomina "adsorbato" y la fase que realiza la adsorción se llama "adsorbente". Si las moléculas se adhieren al interior de la fase sólida, el proceso es conocido como absorción (Ayqui, 2019). En la actualidad existen una serie de procesos empleados para la adsorción de metales pesados, entre los que se encuentran la precipitación química, coagulación – floculación, intercambio iónico, filtración por medio de membranas, flotación, adsorción, solventes y electrocoagulación (Loarte & Sanabria, 2015).



**Figura 1.** Representación esquemática de los procesos de adsorción, absorción e intercambio iónico.

Entre todas las técnicas de separación que se utilizan para extraer metales pesados de aguas contaminadas, la adsorción es una de las más ventajosas debido a su alta eficiencia, bajo coste y fácil manejo (Ashfaq et al., 2021). Además, esta técnica tiene otra gran ventaja y es que los metales capturados por la biomasa son susceptibles de ser recuperados.

### **2.2.5 Parámetros que influyen en la adsorción de plomo (Pb)**

#### **a) Potencial Hidrogeno (pH)**

El pH es una medida del contenido de iones de hidrógeno en un medio acuoso, el agua con un pH superior a 7 es agua alcalina y si es inferior, es agua ácida, las aguas de los ríos no afectadas por la contaminación tienen un pH de entre 6.5 y 8.5 y los organismos acuáticos capturan y liberan dióxido de carbono, respectivamente, durante la fotosíntesis y la respiración (Mansilla, 2013).

#### **b) Concentración del adsorbente**

Es la fase sólida que va ser adsorbida, que tiene la capacidad de retener los componentes presentes en una corriente de líquido (Chalco, 2018).

#### **c) Tamaño de partícula**

Es la obtención de partícula después de agitar una muestra a través de un conjunto de tamices de orificio cuadrado (Roselló et al., 2017).

#### **d) Temperatura**

La temperatura es una medida del grado de calor de un cuerpo, se expresa en unidades de grado centígrado (°C) y se mide con un termómetro digital (Arias, 2018).

#### **e) Tiempo de agitación**

Es el proceso de movimiento de dos o más fluidos homogéneamente, que se expresa en segundos, minutos y horas. Que nos sirve para determinar cuánto tiempo deben permanecer en agitación (Devia & Saldarriaga, 2013).

#### **f) Velocidad de agitación**

Es la relación que se establece entre el espacio o la distancia que recorre un objeto y el tiempo que invierte en ello, se expresa en revoluciones por minuto (RPM) (Devia & Saldarriaga, 2013).

#### **g) Concentración del adsorbato**

Es la especie disuelta que será adsorbida.

## 2.2.6 Biomasa

La biomasa es el conjunto de materia orgánica, de origen vegetal o animal, y los materiales que proceden de su transformación natural o artificial, además puede adsorber metales pesados del medio, este proceso de adsorción se basa en la retención de los contaminantes en una superficie sólida llamada adsorbente (Gurreonero, 2023).

Según la Directiva 2009/28/CE, la biomasa se define como la fracción biodegradable de desechos, productos y residuos de origen biológico, provenientes de actividades agrarias (incluyendo sustancias de origen vegetal y animal), silvicultura e industrias relacionadas, como la pesca y la acuicultura, también incluye la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales. En resumen, la biomasa tiene una definición muy amplia, abarcando desde residuos de actividades forestales, agrícolas y ganaderas hasta la fracción orgánica de residuos domésticos e industriales, así como subproductos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera.

**Tabla 1.**

*Tipos de biomosas naturales usadas para la preparación de adsorbentes.*

<b>Biomosas</b>	<b>Descripción</b>
<b>Bacterias</b>	Bacterias gram-negativas, gram-positivas y cianobacterias.
<b>Hongos</b>	Mohos, setas y levaduras.
<b>Algas</b>	Micro algas, algas marinas rojas, algas marrones, etc.
<b>Residuos industriales</b>	Residuos de fermentación, residuos de la industria de alimentos y bebidas, lodos anaeróbicos, lodos activados.
<b>Residuos agroindustriales</b>	Residuos de frutas y vegetales, cascarilla de arroz, salvado de trigo, vaina de soya, etc.
<b>Residuos naturales</b>	Residuos de plantas y vegetales, cortezas de árboles, aserrín, hierbas, melaza, etc.
<b>Otros</b>	Materiales con alto contenido de quitina y celulosa

**Fuente:** (Ayqui, 2019)

## 2.2.7 Material adsorbente cáscara de plátano de *Musa paradisiaca*

### a) Plátano

El plátano es una fruta donde en el año 1753 Carlos Linneo clasificó como *Musa paradisiaca*, a la familia musácea y al género *Musa*, sin embargo, el nombre científico aun no es definido y *Musa paradisiaca* se considera un nombre genérico (Rodríguez, 2017). Por otro lado, En su obra *Species Plantarum*, Linneo clasificó el banano como *Musa paradisiaca*, esta planta se caracteriza por sus frutos delgados y largos, así como por la presencia de brácteas y flores masculinas persistentes en el raquis de la inflorescencia. Según Gurreonero, (2023) la *Musa paradisiaca* es reconocida por su rentabilidad y alta eficiencia como adsorbente, capaz de eliminar y recuperar diversos metales pesados presentes en muestras acuosas. Esto se debe a la presencia de grupos funcionales como carboxilo, hidroxilo, sulfatos, fosfatos y amino.

### Tabla 2.

*Taxonomía de la Musa paradisiaca*

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Liliopsida

**Orden:** Zingiberales

**Familia:** Musaceae

**Género:** *Musa*

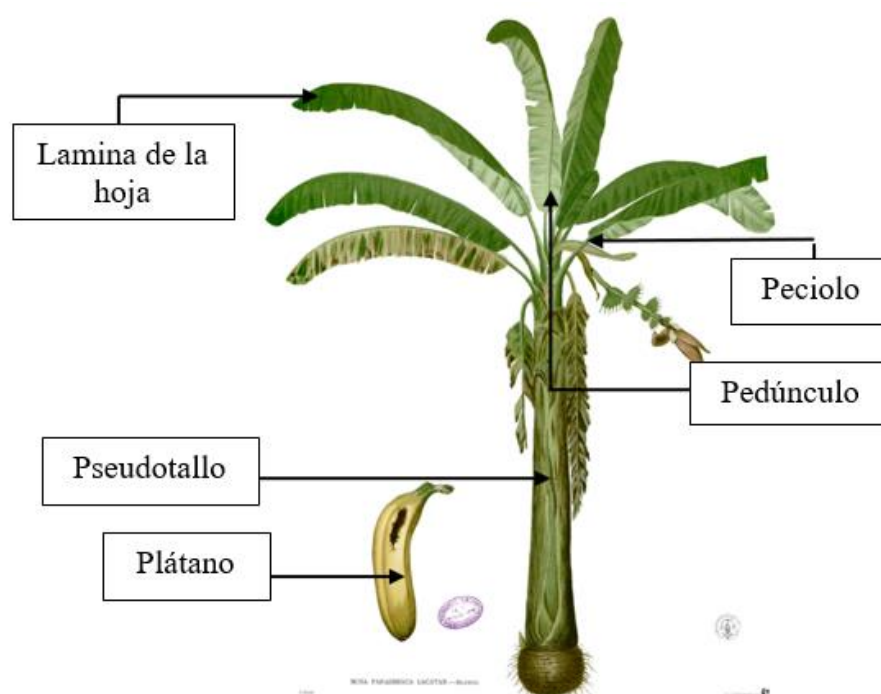
**Especie:** *Musa paradisiaca*

**Fuente:** (García, 2017)

### b) Descripción de la especie *Musa paradisiaca*

Según Chalco, (2018) los nombres comunes como banano, banana, plátano, cambur, topocho, maduro y guineo se refieren a diversas plantas herbáceas del género *Musa*, que pertenece a la familia de las Musáceas. Estas plantas se caracterizan por tener un tallo subterráneo (cormo o rizoma) del cual emerge un pseudotallo aéreo, el cormo produce raíces y yemas laterales que desarrollan brotes o retoños, desde el punto de vista morfológico, el ciclo de vida de una planta de plátano consta de tres etapas: vegetativa, floral y de fructificación.

Según el Jardín Botánico de Santiago, la planta del plátano se compone principalmente de las siguientes partes: las hojas son lisas, tiernas y oblongas, con ápice truncado y base redonda o ligeramente cordiforme. Son verdes en el haz y más claras, normalmente glaucas, en el envés, con márgenes lisos y nervaduras pinnadas. Estas hojas se disponen en espiral y pueden alcanzar hasta 3 metros de largo y 90 centímetros de ancho, con un pecíolo de hasta 60 centímetros de largo. Los frutos miden de 20 a 40 centímetros de largo y de 4 a 7 centímetros de diámetro, y el pseudotallo puede medir entre 2 y 5 metros de altura, alcanzando hasta 8 metros con las hojas (Chalco, 2018). Los frutos son bayas falsas, sin semillas, cilíndricos, agrupados en manos de racimos que contienen de 30 a 70 plátanos (Gurreonero, 2023).

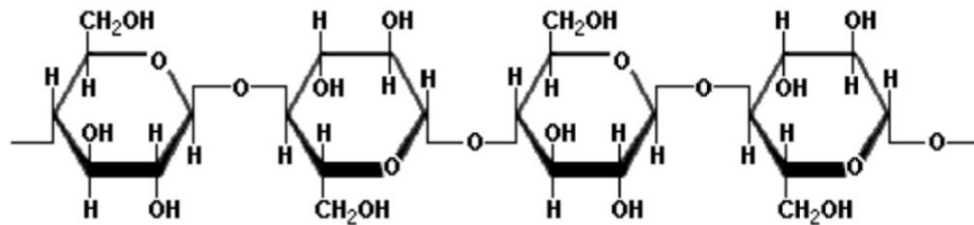


Fuente: (Chalco, 2018)

### c) Composición química de la cáscara de plátano

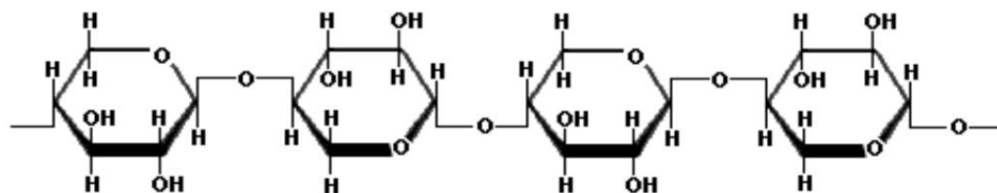
Los componentes principales de la cáscara de plátano son: celulosa (25%), hemicelulosa (15%) y lignina (60%). Sin embargo, esta composición puede variar según el origen del material, la cáscara de plátano maduro es un material lignocelulósico que representa aproximadamente el 40% del peso total de la fruta. Además, la cascara de plátano tiene una capacidad de adsorción y de extraer iones de metales pesados del agua (Gonzales & Guerra, 2016). La capacidad de adsorción de la *Musa paradisiaca* se debe a la presencia de lignina, un tipo de polímero insoluble.

**Celulosa:** Es un polisacárido homogéneo sin ramificaciones, formado por largas cadenas de  $\beta$ -D-glucosa, se diferencia del almidón por la alternancia de grupos  $-\text{CH}_2\text{OH}$  por encima y por debajo del plano de la molécula. Además, la falta de ramificaciones laterales permite que las moléculas de celulosa se aproximen unas a otras, formando estructuras rígidas.



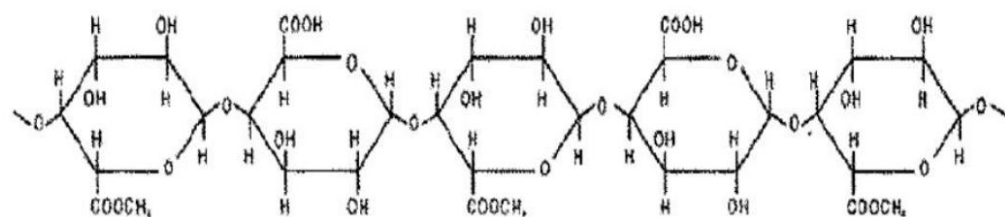
**Figura 2.** *Formula química de la celulosa*

**Hemicelulosa:** Es un polisacárido heterogéneo compuesto por glucosa, arabinosa y xilosa, excluyendo la celulosa, que constituyen las paredes celulares de las plantas y se pueden extraer mediante hidrólisis ácida o enzimática. Además, las hemicelulosas representan aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes leñosas de las plantas. Su estructura química está compuesta por cadenas largas que incluyen una variedad de pentosas, hexosas y sus ácidos urónicos correspondientes.



**Figura 3.** *Formula química de la hemicelulosa*

**Lignina:** Es un polímero formado por la unión de múltiples alcoholes fenilpropílicos, que confiere rigidez a la pared celular y la hace resistente a impactos y flexiones. También se reconoce como la parte dura y fibrosa de las paredes celulares de las plantas, y constituye el segundo componente más grande de la fibra. Por otro lado, las ligninas se encuentran en las cáscara y tallos.



**Figura 4.** *Formula química de la lignina*

**Tabla 3***Composición química de la cascara de plátano.*

<b>Componente</b>	<b>Plátano verde (%)</b>	<b>Plátano maduro (%)</b>
Agua	69.58	75.12
Almidón	15.37	4.21
Celulosa	7.54	0.92
Sacarosa	9.36	-
Glucosa	0.58	5.19
Dextrosa	1.82	1.76
Gomas	0.67	1.6
Proteínas	2.1	-
Cenizas	0.76	0.76

**Fuente:** (Vera & Brito, 2018)**Tabla 4***Composición química del plátano.*

<b>Componentes</b>	<b>Promedio por 100 (g)</b>
Proteínas	1.15
Almidón	56.6
Cenizas	1.52
Albumina	0.31
Manganeso	0.1
Potasio	40
Fosforo	6.09
Sílice	2.04
Cloro	52.11

**Fuente:** (Vera & Brito, 2018)**d) Propiedades de la cáscara de plátano**

Según Gonzales & Guerra, (2016) en la investigación que realizaron manifiestan que el uso de la *Musa paradisiaca* tiene propiedades de adsorción, capacidad de poder extraer iones de metales pesados presentes en fuentes hídricas cuando se pulveriza la cáscara de plátano, esta característica de adsorción es gracias a la lignina presentes en la cascara de plátano, ya que estos son polímeros insolubles.

## 2.2.8 Métodos de modificación de adsorbentes

**Tabla 5.**

*Métodos de modificación de adsorbentes en su estado natural*

BIOMASA	DESCRIPCIÓN
<b>Modificación física</b>	Auto clavado, cortado, vaporizado, molido, secado térmico, liofilizado, etc.
<b>Pre-tratamiento (lavado)</b>	Solventes orgánicos (metanol, etanol, acetona, tolueno, formaldehído, epiclorohidrina, ácido salicílico, NTA, EDTA, etc.). Ácidos (HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , ácido cítrico, etc.), y otros químicos (NaCl, CaCl <sub>2</sub> , ZnCl <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> CH <sub>3</sub> COO, etc.).
<b>Modificación química</b>	<b>Mejoramiento de los grupos de captura</b> Aminación, carboxilación y/o fosforilación de los grupos hidroxilos, carboxilación del grupo amino, saponificación del grupo éster, aminación del grupo carboxilo, sulfonación, halogenación y oxidación.
	<b>Eliminación de los grupos inhibidores</b> De-carboxilación o eliminación del grupo carboxilo, eliminación del grupo amino o des-aminación.
	<b>Polimerización e injerto</b> Injerto de radiación de alta energía (usando irradiación y microondas, radiación electromagnética, etc.), injerto fotoquímico (con o sin sensibilizadores) e injertos de iniciación química (usando ion permanganato, nitrato ferroso de aluminio, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , KMnO <sub>4</sub> /ácido cítrico).
<b>Modificación celular (durante el crecimiento)</b>	<b>Mejoramiento del cultivo</b> Optimización de las condiciones del cultivo para el mejoramiento de la capacidad de biosorción de las células.
	<b>Ingeniería genética</b> Sobre-expresión de los péptidos ricos en cisteína y expresión de las proteínas híbridas en las superficies de las células.

**Fuente:** (Trelles, 2013)

### 2.2.9 Porcentaje de adsorción

Es la relación entre la concentración del metal al inicio del experimento y concentración del metal al final del experimento. Se usará la siguiente fórmula para la eficiencia de remoción del plomo (Pb).

$$P(\%) = [(C_i - C_f)/C_i] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

P (%) = Porcentaje de adsorción.

C<sub>i</sub> = Concentración del metal al inicio del experimento.

C<sub>f</sub> = Concentración del metal al final del experimento.

### 2.2.10 Normativa ambiental

El MINAM mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM establece los niveles de concentración de las sustancias, elementos, parámetros químicos, físicos y microbiológicos anexados en la Tabla 19, que se encuentran presentes en el agua en condición de cuerpo receptor y componente básico de ecosistemas acuáticos que no representen un riesgo significativo para la salud del ambiente y de las personas (MINAM, 2017).

#### a) Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017) define los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) como instrumentos de gestión ambiental que permiten evaluar los parámetros de un cuerpo receptor, desarrollar formas de proteger y cuidar el medio ambiente, la calidad de agua y la salud pública, permitiéndole al estado desarrollar obligaciones y normas de cumplimiento para establecer un rango aceptable al daño causado por la actividad humana.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 **Ámbito de estudio**

El río Ramis es el río más largo de la cuenca del Titicaca y nace en las cercanías del nevado Ananea, nevado Ninacuyo y la laguna Rinconada a 5828 msnm, con el nombre de río Carabaya, cerca de Progreso recibe el aporte de Quenamari formando el río Azángaro y aguas abajo este confluye con el río Pucara y pasa a llamarse río Ramis por 32 kilómetros hasta el lago Titicaca donde desemboca, pero desde su nacimiento hasta la desembocadura en el Titicaca recorre 299 kilómetros aproximadamente (Alvarez, 2018). En ese contexto, la presente investigación se efectuó en el río Azángaro, el cual es uno de los tramos de la cuenca del río Ramis, localizada en la zona centro de la Provincia de Azángaro, Departamento de Puno (Ministerio de salud, 2007).



**Figura 5.** Mapa de Ubicación geográfica de la cuenca del río Ramis – Azángaro.

### **3.2 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, donde se manipulan intencionalmente una o más variables independientes para observar su impacto en las variables dependientes (Alvarez, 2008). Además, esta investigación es de nivel explicativo, ya que busca identificar las causas de eventos y fenómenos físicos o sociales, explicando la ocurrencia del fenómeno y las condiciones en las que se manifiesta (Hernández et al., 2014). El propósito es comprobar los efectos de una intervención específica, en la cual el investigador desempeña un papel activo, manipulando las condiciones del estudio.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

Para la presente investigación, se consideró como universo del área de estudio el agua superficial del tramo río Azángaro, comprendida entre el río Quenamari, aguas arriba, y el río Pucara, aguas abajo, perteneciente a la cuenca del río Ramis. Esta área abarca una extensión total de 32 kilómetros.

#### **3.3.2 Muestra**

Se tomó 10 litros de agua del tramo río Azángaro de la cuenca Ramis en un tramo accesible y uniforme según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales ANA, (2016). Donde se realizó un muestreo mediante el método aleatorio simple en 4 puntos, en temporada de estiaje, el cual permitió recoger muestras representativas del tramo río Azángaro de la cuenca Ramis, a una distancia de 10.5 metros entre cada punto. Las muestras se tomaron a una profundidad de 20 a 30 cm desde la superficie y en dirección contraria al flujo del río, donde se destinaron 100 mL para analizar la concentración inicial de plomo (Pb) y 2400 mL para el análisis experimental.

### **3.4 Materiales**

#### **3.4.1 Equipos**

Espectrofotómetro de Absorción Atómica (ANALYTIC JENA-NOVAA 400P), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), turbidímetro HANNA, estufa eléctrica P-SELECTA-F6A, mufla eléctrica LINN HIGH THERM, agitador magnético, balanza analítica OHAUS-PX323, Multiparámetro AK88, Cronómetro Digital (Casio HS-80TW-1EF), Horno eléctrico, tamiz N° 100, tamiz N° 70, tamiz N° 250, centrifugadora de laboratorio (ROTOFIX 32 A), plancha de calentamiento ROBAX, Cámara fotográfica (Xiaomi REDMI NOTE 9) y laptop NOTEBOOK HP PAVILION.

#### **3.4.2 Materiales**

Beakers de 100, 250, 500 y 1000 mL, matraces Erlenmeyer aforados de 50, 100 y 250 mL, pipetas de 1, 5 y 10 mL, crisol de porcelana de 40 y 200 mL, probeta de 50, 100 y 200 mL, fioles de 10, 50, 100 y 250 mL, piceta, soporte metálico, mortero, mechero bunsen, papel filtro, papel whatman N° 40, luna de reloj, gradilla, papel indicador universal, baguetas, desecador, embudos, pinzas, cúter, centímetro, licuadora y espátula de laboratorio.

#### **3.4.3 Reactivos**

Hidróxido de sodio (NaOH) 30% p/v, hidróxido de sodio Na(OH) 0.1 N ó Ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N, agua destilada, agua ultra pura, alcohol al 96° y ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

#### **3.4.4 Otros**

Guantes quirúrgicos, guantes látex, barbijo quirúrgico, bata de laboratorio, gorro quirúrgico, cubeta, cooler, marcador indeleble, lamina de acrílico transparente, frascos de vidrio, frascos de plásticos, chaleco, bolsas transparentes, bolsa herméticas pequeños y grandes, etc.

## 3.5 Métodos

### 3.5.1 Identificación de lignina de la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* que actuaran como adsorbente del Pb en aguas de la cuenca del río Ramis:

Para identificar la lignina en la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca*, se llevó a cabo un análisis siguiendo los lineamientos descritos en el método ASTM E1252-98 (2021), "Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis". Este análisis se realizó utilizando espectroscopía infrarroja por transformada de fourier (FTIR), con un rango de número de onda de  $650\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  y un accesorio de reflectancia total atenuada universal. Posteriormente, se realizó un pretratamiento a la cáscara de plátano para eliminar las impurezas que pudieran interferir en el proceso de adsorción, como se detalla a continuación.

#### a) Preparación de la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca*

El residuo lignocelulósico (cáscara de plátano) fue sometido a diversas etapas:

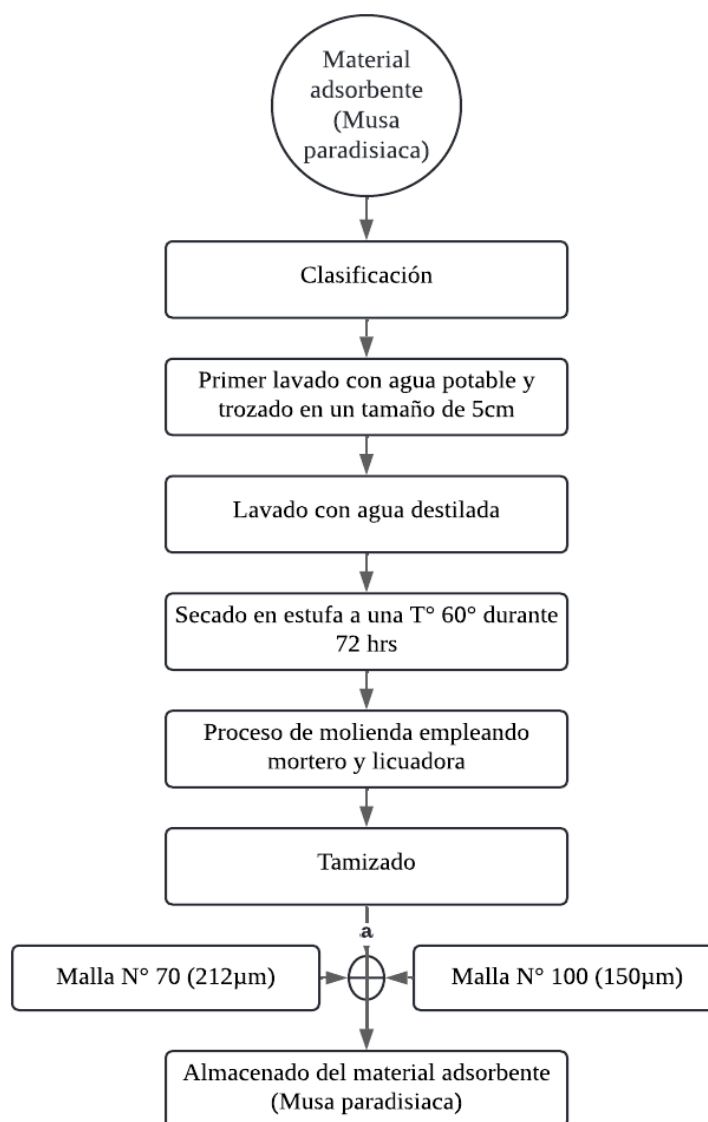
- **Clasificación:** Se realizó la clasificación de la cascara de plátano acorde a su apariencia física, retirando aquellos que se encontraran en mal estado.
- **Primer lavado con agua potable y reducción del tamaño:** Posterior a ser categorizados se lavaron con abundante agua para eliminar las impurezas principalmente sólidas adheridas, luego del lavado se redujo el tamaño en aproximadamente 5 cm para que el secado sea uniforme y rápido.
- **Lavado con agua destilada:** Luego de reducir el tamaño de la materia prima se enjuago empleando agua destilada buscando retirar compuestos solubles si existiesen en la cáscara de plátano.
- **Secado:** Las cáscaras de plátanos de *Musa paradisiaca* fueron deshidratadas en el horno, los cuales se colocaron en bandejas de papel aluminio a una temperatura de  $60^{\circ}$  en un tiempo de 72 horas.
- **Molido:** Concluido el proceso de secado, se realizó el proceso de molienda a las cáscaras de plátano para tal se utilizó un mortero y una licuadora para acelerar el proceso de molienda y de esa manera reducir su tamaño normal.
- **Tamizado:** Se realizó el tamizado haciendo uso la malla N° 70 ( $212\text{ }\mu\text{m}$ ) y la malla N° 100 ( $150\text{ }\mu\text{m}$ ).
- **Almacenado:** finalmente se almaceno 500 gramos de cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* de cada uno de los tamices en recipientes herméticos, para aislar de la humedad.

**b) Identificación de la Lignina a partir de la cáscara de plátano**

Como referencia se tomó la investigación realizada por (Ramirez & Enriquez, 2015), para la identificación de la lignina, se empleó el método de la norma ASTM E1252-98 (2021) “Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis” mediante la Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR).

**Procedimiento:**

Para identificar la lignina, se llevó a cabo un proceso de deslignificación de la *Musa paradisiaca* mediante un tratamiento alcalino con una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 30% p/v, a una temperatura inferior a 60 °C por 30 minutos; finalmente, la muestra se filtró con papel Whatman N° 40.



**Figura 6.** Diagrama del proceso de preparación de la biomasa de *Musa paradisiaca*

### **3.5.2 Determinación de la interacción óptima de los factores pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula que influyen en la remoción del Pb de aguas procedentes de la cuenca del río Ramis:**

Como referencia se tomó la investigación realizada por (Ramirez & Enriquez, 2015) para la adsorción del plomo (Pb) de aguas del río Azángaro de la cuenca Ramis empleando cáscara de plátano de *Musa paradisiaca*. Donde se realizó tratamientos variando el pH (4 y 6), la concentración del adsorbente (10 g y 20 g) y el tamaño de partícula malla N° 70 (212  $\mu\text{m}$ ) y malla N° 100 (150  $\mu\text{m}$ ).

#### **a) Evaluación del efecto del pH, concentración del adsorbente y el tamaño de partícula en el proceso de adsorción del Pb**

El procedimiento para la determinación de la adsorción del plomo (Pb) en efluentes del río Azángaro de la cuenca Ramis fue desarrollada por Ramirez & Enriquez, (2015), la cual se describe a continuación:

En un matraz Erlenmeyer de 200 mL, se adiciono 100 mL de muestra contaminada, seguidamente 10 g y 20 g de adsorbente de cáscara de plátano a un tamaño de partícula de 212  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ , hidratando con Nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ), con agitación constante para cada uno de los ensayos (150 RPM), el tiempo de agitación fue de 60 minutos, considerando una temperatura T° ambiente  $16 \pm 2$  °C, el control del pH, concentración del adsorbente y el tamaño de partícula se realizó de acuerdo al diseño experimental (Tabla 7).

##### **- Efecto del pH**

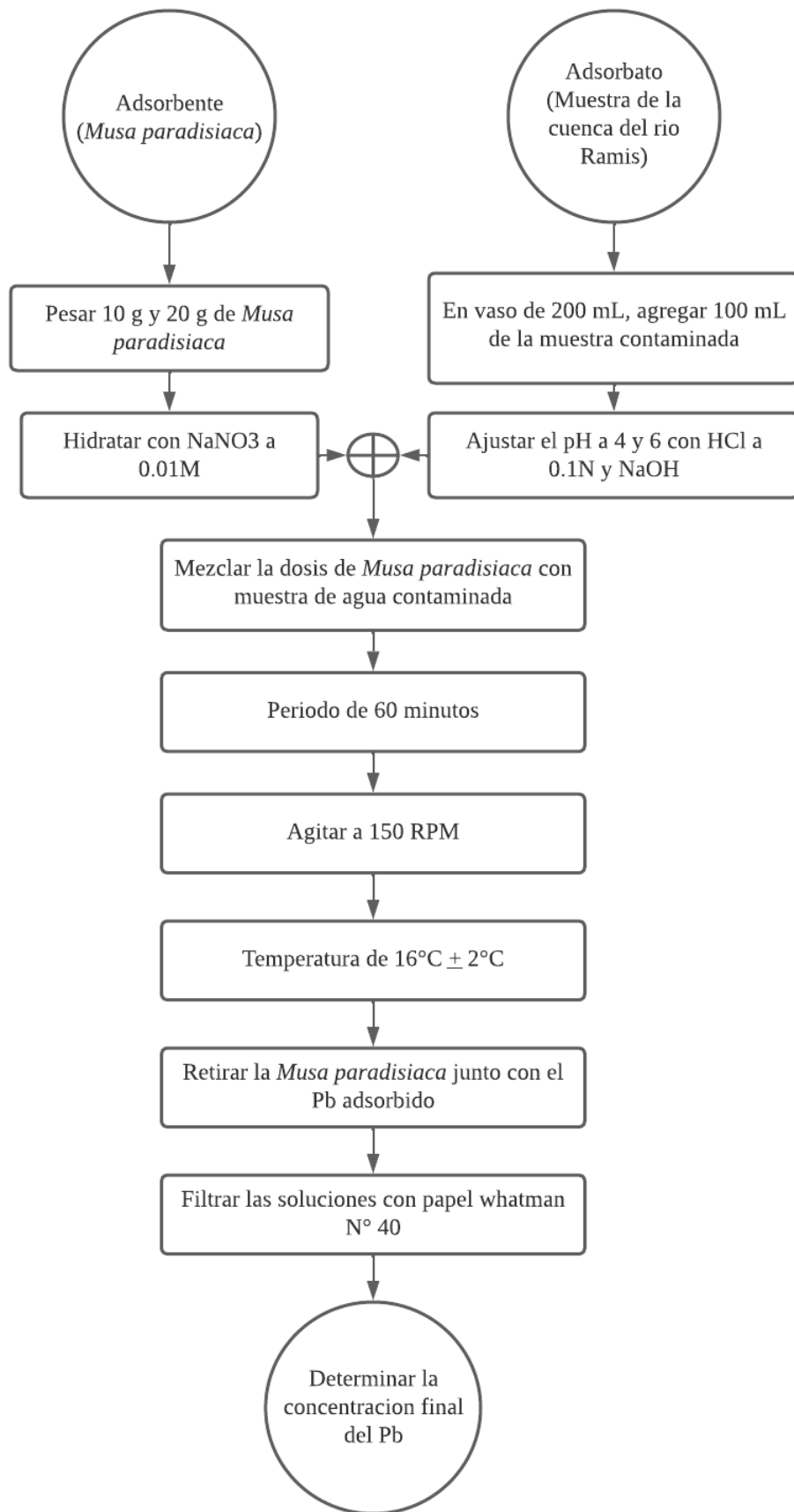
Para estudiar el efecto del pH, las soluciones previamente preparadas se ajustaron a los valores de 4 y 6, empleando ácido clorhídrico (HCl) 0.1N, transcurrido el tiempo de agitación las muestras se llevaron a centrifugar y posteriormente se filtraron con papel whatman N° 40.

##### **- Efecto de la concentración de adsorbente**

El efecto de la concentración del adsorbente en la adsorción del plomo (Pb) con *Musa paradisiaca*, se realizó a concentraciones de (10 g) y (20 g), dispuestas según diseño experimental establecido.

##### **- Efecto del tamaño de partícula**

Los efectos del tamaño de la partícula en la adsorción del plomo (Pb) con *Musa paradisiaca*, se realizaron a una malla N° 70 (212  $\mu\text{m}$ ) y malla N° 100 (150  $\mu\text{m}$ ); dispuestas según diseño experimental establecido.



**Figura 7.** Diagrama de flujo de la adsorción del plomo en aguas de la cueca del rio Ramis.

### **3.5.3 Determinación del porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando *Musa paradisiaca* de aguas procedentes de la cuenca del río Ramis.**

#### **a) Recolección de muestras de agua de la cuenca del río Ramis**

##### **- Tipo y técnica de muestreo**

Se recolectaron las muestras de agua del río Azángaro de la cuenca Ramis según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016). Donde se realizó un muestreo aleatorio simple en 4 puntos en temporada de estiaje, el cual permitió recoger muestras representativas del tramo río Azángaro de la cuenca Ramis.

##### **Procedimiento:**

Es importante mencionar que se utilizaron Equipos de Protección Personal antes de recolectar las muestras, se seleccionó un punto medio en la corriente principal, donde el agua es uniforme y poco turbulenta; se tomó envase de vidrio debidamente esterilizado, antes de tomar la muestra se enjuago como mínimo 2 veces con la misma agua el envase, el frasco se colocó en un brazo de muestreo sin tocar su superficie interna, y se sumergió en dirección contraria al flujo del río hasta que estuvo parcialmente lleno, y se procedió a su enjuague como mínimo 2 veces; a una profundidad aproximada de 20 a 30 cm desde la superficie se sumergió el recipiente en dirección opuesta al flujo del río. Toda la muestra se colocó en un cooler de forma vertical para que no haya derrames ni se exponga a la luz del sol (ANA, 2016).

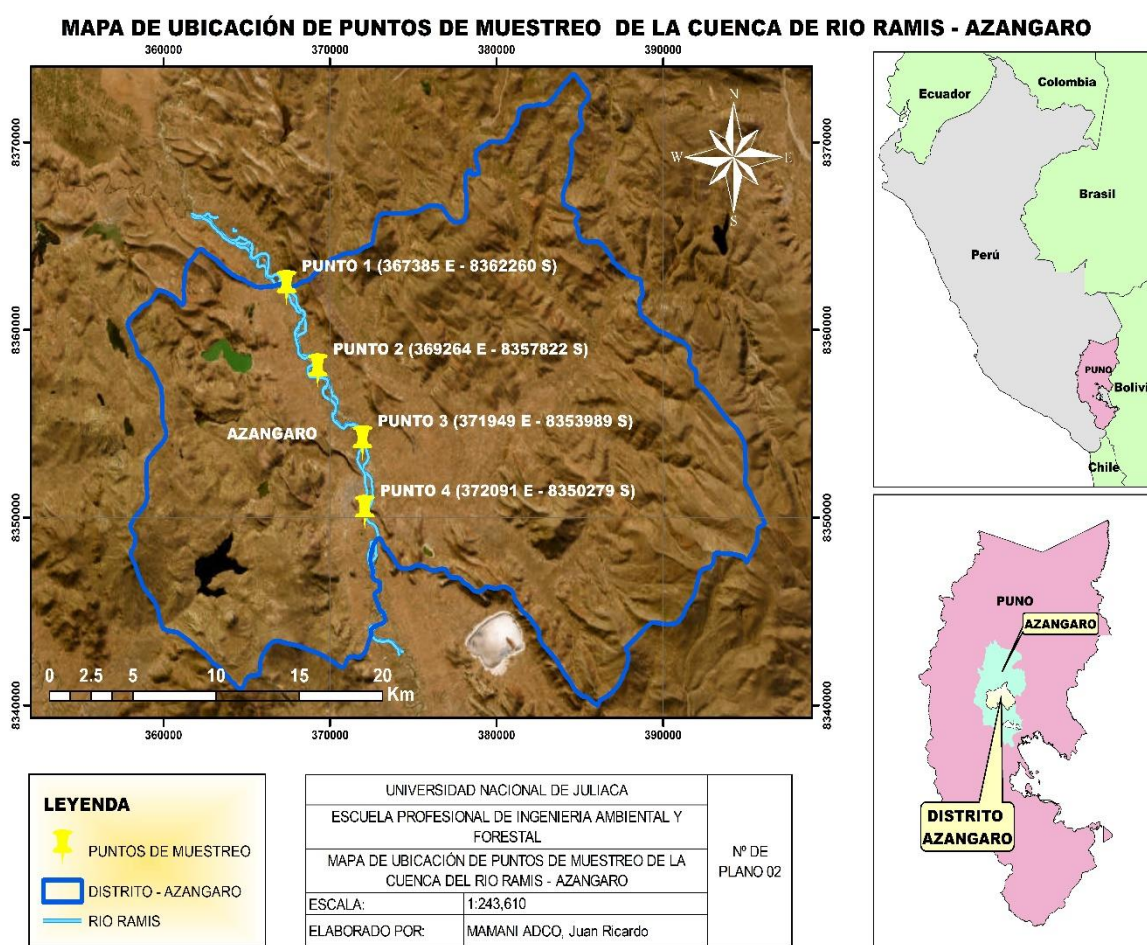
##### **- Puntos de muestreo**

Según ANA, (2016) el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, establece que para la ubicación de puntos de control en cuerpos de aguas loticos (ríos), primeramente se seleccionó un tramo uniforme, accesible donde permitió tomar la muestra sin dificultad, en cuerpos de aguas loticos los puntos de control se ubican; un punto aguas arriba a 50 metros de distancia y otro punto de aguas abajo a 200 metros distancia desde el vertimiento. Por lo tanto, se realizó un muestreo aleatorio simple considerando 4 puntos, llegando a recoger muestras representativas y las coordenadas de cada punto de muestreo se puede observar en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Puntos de muestreo en la cuenca del río Ramis – Azángaro.*

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM	
	Este (mE)	Norte (mS)
1	367385	8362260
2	369264	8357822
3	371949	8353989
4	372091	8350279



**Figura 8.** *Puntos de muestro en la cuenca del río Ramis – Azángaro.*

**b) Determinación de la turbiedad**

La determinación de la turbiedad de las aguas del río Azángaro de la cuenca Ramis, fueron mediante el método estandarizado del turbidímetro HANNA HI93703, ya que la turbidez es una medida de la cantidad de materia en suspensión que interfiere con la transmisión de los rayos de luz a través del agua (Rojas, 2018).

**Procedimiento:**

Se calibro el medidor con los estándares, seguidamente se llenó 10 mL de muestra de agua en una celda, posteriormente se limpió el exterior de la celda, finalmente se colocó la celda dentro del medidor y se tomó la lectura.

**c) Determinación de la concentración inicial del plomo (Pb)**

Una vez recolectado las muestras según el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales ANA, (2016), En un envase Polietileno Tereftalato (PET) de 100 mL se procedió a enviar la muestra a “BHIOS Laboratorios”. Laboratorio de ensayo acreditado por el organismo de acreditación INACAL. Donde la determinación de la concentración inicial de plomo (Pb) fue mediante el método EPA Method 6020, Rev. 2 (Espectrofotometría de Absorción Atómica).

**d) Determinación de la concentración final del plomo (Pb)**

La determinación de la nueva concentración del plomo (Pb) fue mediante el método EPA Method 200.7 Rev. 4.4 (Espectrofotometría de Absorción Atómica), la cual se describe a continuación:

**Procedimiento:**

Se realizó la filtración de las muestras, seguidamente se hizo la dilución y llenado en los tubos falcon para su posterior lectura de concentración de plomo (Pb) mediante el método EPA Method 200.7 Rev. 4.4 (Espectrofotometría de Absorción Atómica).

**e) Determinación del porcentaje de adsorción**

El porcentaje de adsorción se calculó según la siguiente ecuación:

$$A\% = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

$C_0$  = Concentración inicial de la solución a adsorber

$C_e$  = Concentración final de la solución a adsorber

$\%A$  = Porcentaje de adsorción alcanzado

## 3.6 Análisis estadístico

### 3.6.1 Variables

#### a) Variable dependiente

- Adsorción del plomo (Pb).
- Turbiedad.

#### b) Variables independientes

- pH (4 y 6).
- Concentración del adsorbente (10 gramos y 20 gramos).
- Tamaño de partícula malla N° 70 (212  $\mu\text{m}$ ) y malla N° 100 (150  $\mu\text{m}$ ).

### 3.6.2 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en esta investigación es un diseño factorial  $n^k$ , con 2 niveles de cada factor, siendo los factores: pH, concentración de adsorbente (g) y tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ ), en un diseño factorial con 8 tratamientos y 3 repeticiones, estos datos se analizaron mediante el software estadístico R, ANOVA y al resultar significativos los análisis evaluados se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, así mismo se usó el programa SPSS y Excel para la construcción de las tablas y figuras.

El modelo estadístico utilizado para el análisis de la información es:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\lambda)_{ik} + (\beta\lambda)_{jk} + (\alpha\beta\lambda)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (3)$$

$i$  = pH 4 y 5.

$j$  = Concentración del adsorbente 10 gramos y 20 gramos.

$k$  = Tamaño de partícula 212  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ .

$l$  = 1, 2 y 3 repeticiones.

El diseño utilizado en la presente investigación es un diseño factorial  $n^k$  con:

**2 niveles:** pH (4 y 6), concentración del adsorbente (10g y 20g) y tamaño partícula (212  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ ).

**3 factores:** pH, concentración del adsorbente y tamaño partícula.

$$N^\circ \text{ tratamiento} = 2^3 \times 3$$

$$N^\circ \text{ tratamientos} = 24$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor pH y al nivel (j) del factor concentración del adsorbente.

$\mu$  = Efecto constante, es el porcentaje medio de remoción de plomo (Pb), común a todos los niveles de los factores.

$\alpha_i$  = Efecto producido por el nivel i-ésimo del factor pH.

$\beta_j$  = Efecto producido por el nivel j-ésimo del factor concentración del adsorbente.

$\lambda_k$  = Efecto producido por el nivel j-ésimo del factor tamaño de partícula.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto producido por la interacción entre pH y concentración del adsorbente.

$(\alpha\lambda)_{ik}$  = Efecto producido por la interacción entre pH y tamaño de partícula.

$(\beta\lambda)_{jk}$  = Efecto producido por la interacción entre concentración del adsorbente y tamaño de partícula.

$(\alpha\beta\lambda)_{ijk}$  = Efecto producido por la interacción entre pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula.

$\varepsilon_{ijkl}$  = Error aleatorio.

**Tabla 7**

*Diseño factorial de 3 factores.*

Replicas	a1				a2			
	b1		b2		b1		b2	
	c1	c2	c1	c2	c1	c2	c1	c2
1	$X_{1111}$	$X_{1121}$	$X_{1211}$	$X_{1221}$	$X_{2111}$	$X_{2121}$	$X_{2211}$	$X_{2221}$
2	$X_{1112}$	$X_{1122}$	$X_{1212}$	$X_{1222}$	$X_{2112}$	$X_{2122}$	$X_{2212}$	$X_{2222}$
3	$X_{1113}$	$X_{1123}$	$X_{1213}$	$X_{1223}$	$X_{2113}$	$X_{2123}$	$X_{2213}$	$X_{2223}$

Para el análisis estadístico se empleó las siguientes nomenclaturas para cada factor:

- **pH:** a1 = 4 y a2 = 6
- **Concentración del adsorbente:** b1 = (10 gramos) y b2 = (20 gramos)
- **N° de partícula:** c1= 212  $\mu\text{m}$  y c2=150  $\mu\text{m}$

### 3.6.3 Procedimiento de prueba de hipótesis

Es importante destacar que el análisis estadístico se llevó a cabo respetando los supuestos necesarios para garantizar la fiabilidad de dicho análisis, como el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk). Los resultados de estas pruebas se muestran en la Figura 20 y en la Tabla 16, utilizando R-Studio.

#### a) Planteamiento de hipótesis

##### Análisis de varianza (ANOVA)

$H_0$ : No existe diferencias significativas entre los tratamientos.

$H_1$ : Existe al menos uno de los tratamientos que presenta diferencias significativas.

##### Prueba de normalidad (Shapiro Wilk)

$H_0$ : Los datos pertenecen a una población con distribución normal

$H_1$ : Los datos no pertenecen a una población con distribución normal

A un nivel de confianza del 95% y con un margen de error del 5%,

#### b) Nivel de significancia

##### Análisis de varianza (ANOVA)

A un nivel de confianza del 95% y con un margen de error del 5%. Según Porras & Martínez, (2019) manifiestan que un valor  $P\_value < 0.05$  que vendría a ser el 5% indica un efecto significativo, y un valor  $P\_value > 0.05$  es un efecto no significativo.

##### Prueba de normalidad (Shapiro Wilk)

Así mismo, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5% para evaluar la normalidad de los datos obtenidos, dando a conocer que para un  $P\text{-valor} > 0.05$  los datos siguen una distribución normal y para un  $P\text{-valor} < 0.05$ , los datos no siguen una distribución normal.

#### c) Estadístico de prueba

Para el estadístico de prueba se tomaron en cuenta los siguientes supuestos que dan fiabilidad:

- Análisis de varianza (ANOVA).
- Prueba de normalidad.

#### **d) Regla de decisión**

Para un único factor, independientemente del pH, la concentración del adsorbente y el tamaño de partícula, los valores de P\_value son 0.337, 0.799 y 0.611, respectivamente. Dado que estos valores son mayores que el valor de alfa (0.05), se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Esto demuestra que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de adsorción del plomo (Pb) entre los diferentes niveles de tratamiento, con un nivel de confianza del 95%.

Para la prueba de normalidad se empleó la prueba de Shapiro-Wilk utilizando el software estadístico R. El valor de p es superior a 0.05 (coeficiente de variabilidad), lo cual indica que los datos tienden a seguir una distribución normal. Esto significa que se acepta la hipótesis nula, que sostiene que los datos provienen de una población con distribución normal, y se rechaza la hipótesis alternativa.

#### **e) Conclusión**

El modelo matemático utilizado en esta investigación, aplicado con un diseño factorial  $n^k$  mediante el software estadístico R-Studio, es apropiado, ya que los supuestos que respaldan este análisis, como el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk), proporcionan fiabilidad.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

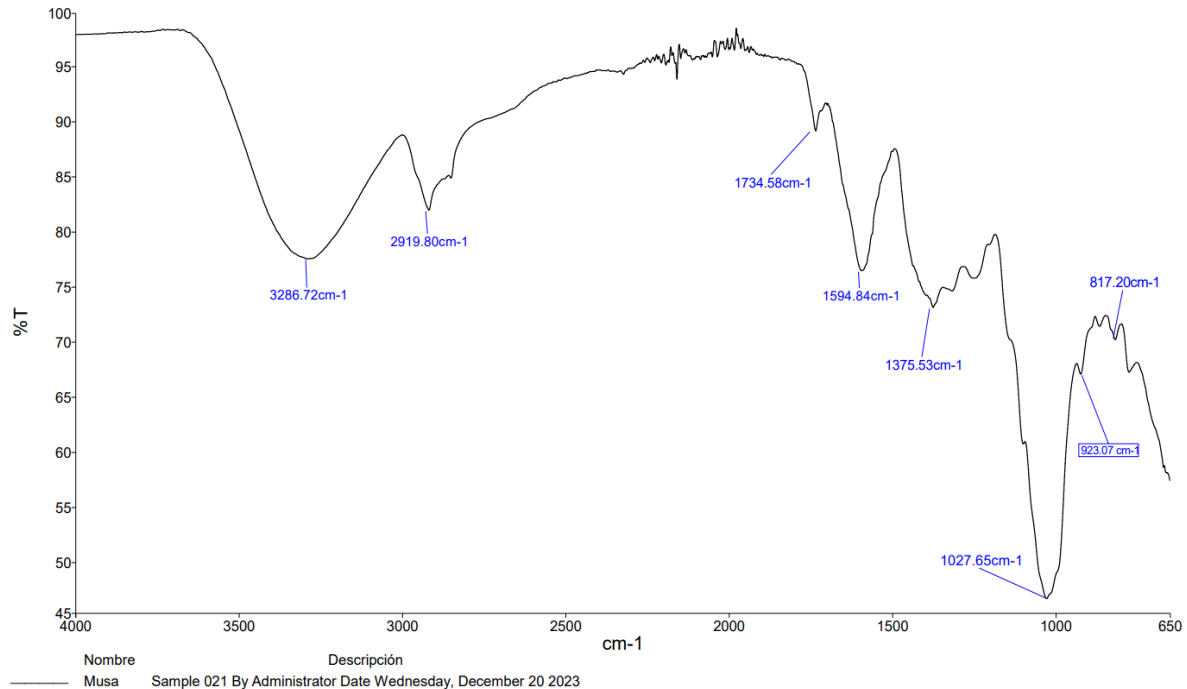
#### 4.1 Identificación de la lignina presentes en la biomasa de *Musa paradisiaca*

Se identificó lignina en la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* mediante el análisis realizado en el Laboratorio de Investigación y Servicios de la UNSA en Arequipa, utilizando Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR). Este método fue crucial para entender la estructura química del adsorbente, siguiendo los lineamientos del método ASTM E1252-98 (2021) para el análisis cualitativo de espectros infrarrojos. Se utilizó un rango de número de onda de  $650\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  con accesorio de reflectancia total atenuada universal.

##### 4.1.1 Análisis por Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR)

A través de este análisis se identificaron los grupos funcionales presentes en la biomasa de cáscara de plátano de *Musa paradisiaca*. Estos grupos se encuentran principalmente en moléculas orgánicas, las cuales tienen la capacidad de absorber energía electromagnética en la región infrarroja del espectro. Este fenómeno es menos común en compuestos de naturaleza inorgánica. La información cualitativa revela la complejidad y heterogeneidad química de *Musa paradisiaca*, observada cuando los átomos vibran a frecuencias específicas debido a los enlaces que los unen, cada uno con niveles de energía vibratoria distintos. Durante este proceso, el compuesto absorbe radiación infrarroja a energías de longitud de onda o frecuencia específicas, manifestándose como picos o bandas de adsorción en el espectro. La frecuencia de vibración y su posición en el espectro están asociadas típicamente con la rigidez relativa del enlace, siendo los enlaces múltiples más rígidos que los dobles, y estos más rígidos que los simples. Además, la intensidad de la absorción depende de la reproducción de un grupo químico específico y de la polaridad del enlace, siendo los enlaces más polarizados los que muestran mayor intensidad en la absorción. Estudios previos han identificado diversos grupos funcionales en biosorbentes similares, como carboxilos, carbonilos, sulfhidrilos, fosfatos e hidroxilos, que juegan un papel crucial en la captura y adsorción de contaminantes (Tejeda, et al., 2014).

A continuación, en la Figura 9, se presentan los espectros de infrarrojo correspondientes a la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* (FTIR). Los espectros muestran picos anchos que reflejan la complejidad inherente del material adsorbente



**Figura 9.** Análisis por Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier.

En el espectro de la biomasa de cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* Figura 9, en el cual se logra reconocer a los siguientes grupos funcionales: El pico ancho e intenso a  $3286.72\text{ cm}^{-1}$  es un indicativo del estiramiento de los grupos aminos (-NH) y radicales hidroxilo (-OH) presentes en la celulosa, compuestos pecticos, proteínas, hemicelulosas y lignina (Castro, 2015). Así mismo, el pico  $2919.80\text{ cm}^{-1}$  se atribuyen a las vibraciones C-H los grupos alcanos debida a los grupos -OCH<sub>3</sub> y -CH<sub>2</sub>OH presentes en la celulosa y la lignina (Ayqui, 2019). Los picos alrededor de  $1734.58\text{ cm}^{-1}$  en el espectro corresponden al estiramiento carbonilo C=O lo que indica la vibración de los grupos carboxilo contenido en la pectina, hemicelulosa y lignina (Castro, 2015) en la biomasa de *Musa paradisiaca*. Por otro lado, el pico  $1594.84\text{ cm}^{-1}$  claramente se debe a la vibración de las aminos primarias siendo que este grupo se encuentra entre el pico  $1650$  y  $1560\text{ cm}^{-1}$  (Porrás & Martínez, 2019). El pico  $1375.53\text{ cm}^{-1}$  corresponde a tensiones de (estiramiento C=O y C-O) de ácidos carboxílicos. Según Amirnia, (2015) el pico intenso de adsorción  $1027.62\text{ cm}^{-1}$  corresponde a la participación del grupo fosfato (estiramiento de CO entre  $1000$ - $1320\text{ cm}^{-1}$  para alcoholes, ácidos carboxílicos, ésteres, éteres); además el pico  $923.07$

$cm^{-1}$  se encuentra en vibraciones entre 900 y 1400 los cuales son propias de polisacáridos de los grupos C-H, COC, C-N y P-O. Finalmente el pico  $817.20\ cm^{-1}$  se encuentra asociado al grupo alcaleno con flexion fuera de plano (Porras & Martinez, 2019).

**Tabla 8.**

*Grupos funcionales existentes.*

Número de onda ( $cm^{-1}$ )	Posibles asignaciones de grupos funcionales
3286.72	Según (Primo, 2007), los picos 3450 - 3250 corresponde a los grupos aminos (-NH) e hidroxilos (-OH) de celulosas, compuestos pécticos y proteínas. Los picos a 3500 – 2500 $cm^{-1}$ , muestran las vibraciones de la celulosa, la pectina, el agua adsorbida, la hemicelulosa y la lignina (Castro, 2015).
2919.80	Los picos 3000 – 2850 $cm^{-1}$ , se atribuyen a las vibraciones C-H del estiramiento metilo, metileno, grupos metoxi y grupos alcanos debida a los grupos -OCH <sub>3</sub> y -CH <sub>2</sub> OH presentes en la celulosa y la lignina (Ayqui, 2019).
1734.58	Según Castro, (2015) los picos alrededor de 1750-1675 corresponden al estiramiento carbonilo C=O que indica la vibración de los grupos carbonilo de pectina, hemicelulosa y lignina.
1594.84	Según Porras & Martinez, (2019) probablemente se deba a la vibración de las aminos primarias siendo que este grupo se encuentra entre el pico 1650 y 1560 $cm^{-1}$ .
1375.53	Según Primo, (2007) se atribuye a tensiones de (estiramiento C=O y C-O) de ácidos carboxílicos.
1027.65	El pico 1027.65 $cm^{-1}$ corresponde a la participación del grupo fosfato (estiramiento de CO entre 1000-1320 $cm^{-1}$ para alcoholes, ácidos carboxílicos, ésteres, éteres)
923.07	En vibraciones entre 900 y 1400 corresponden a los polisacáridos de los grupos C-H, COC, C-N y P-O.
817.20	Segun Porras & Martinez, (2019) se encuentra asociado al grupo alcaleno.

#### 4.2 Determinación de la interacción óptima de los factores (pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula) que influyen en la remoción del Pb de aguas procedentes de la cuenca del río Ramis:

En el presente trabajo de investigación para determinar la interacción óptima de los factores; pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula se empleó un diseño factorial  $n^k$  con tres factores y 2 niveles, ya que esta técnica estadística nos permitió determinar la significancia de cada uno de las variables independientes y el efecto de sus interacciones, para lo cual estos datos se analizaron mediante el software estadístico R.

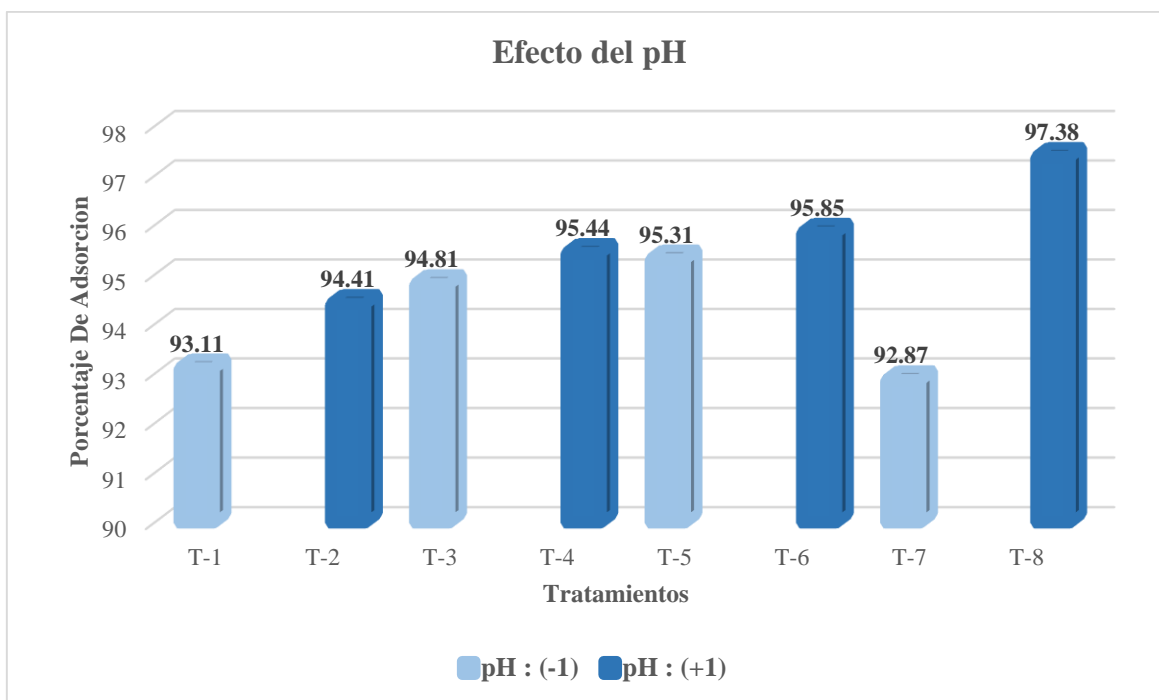
**Tabla 9.**

*Datos estadísticos para el análisis factorial*

$N^{\circ}$	$\alpha_i$	$\beta_j$	$\lambda_k$	$(\alpha\beta)_{ij}$	$(\alpha\lambda)_{ik}$	$(\beta\lambda)_{jk}$	$(\alpha\beta\lambda)_{ijk}$	Porcentaje de adsorción de Pb
T <sub>1</sub>	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	93.11
T <sub>2</sub>	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	94.41
T <sub>3</sub>	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	94.81
T <sub>4</sub>	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	95.44
T <sub>5</sub>	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	95.31
T <sub>6</sub>	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	95.85
T <sub>7</sub>	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	92.87
T <sub>8</sub>	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	97.38

En la Tabla 9, se muestran la combinación de los datos estadísticos para el análisis del diseño factorial y los resultados de la concentración final del plomo (Pb) expresados en porcentaje de los tratamientos experimentales, siendo el T<sub>8</sub> con un pH de 6, concentración de adsorbente 20g y un tamaño de partícula de 150( $\mu$ m) el más eficiente logrando alcanzar un porcentaje de adsorción del 97.38%, por otro lado, el T<sub>6</sub> con un pH de 6, concentración del adsorbente de 10g, y tamaño de partícula de 150( $\mu$ m) alcanzo un porcentaje de adsorción del 93.11%; el T<sub>4</sub> con un pH de 6, concentración de adsorbente 20g y tamaño de partícula de 212( $\mu$ m) alcanzo un porcentaje de adsorción del 95.44%; el T<sub>5</sub> con un pH de 4, concentración de adsorbente 10g y tamaño de partícula de 150( $\mu$ m) alcanzo un porcentaje de adsorción del 95.31%; el T<sub>3</sub> con un pH de 4, concentración de adsorbente 20g y tamaño de partícula de 212( $\mu$ m) alcanzo un porcentaje de adsorción del 94.81%; el T<sub>2</sub> con un pH de 6, concentración de adsorbente 10g y tamaño de partícula de 212( $\mu$ m) alcanzo un porcentaje de adsorción del 94.41%; el T<sub>1</sub> con un pH de 4, concentración de adsorbente 10g y tamaño de partícula de 212( $\mu$ m) alcanzó un porcentaje de adsorción del 93.11%; y finalmente el T<sub>7</sub> con un pH de 6, concentración de adsorbente 20g y tamaño de partícula de 150( $\mu$ m) alcanzo un porcentaje de adsorción del 92.87% siendo este el tratamiento menos eficiente.

#### 4.2.1 Efecto de interacción óptima del pH

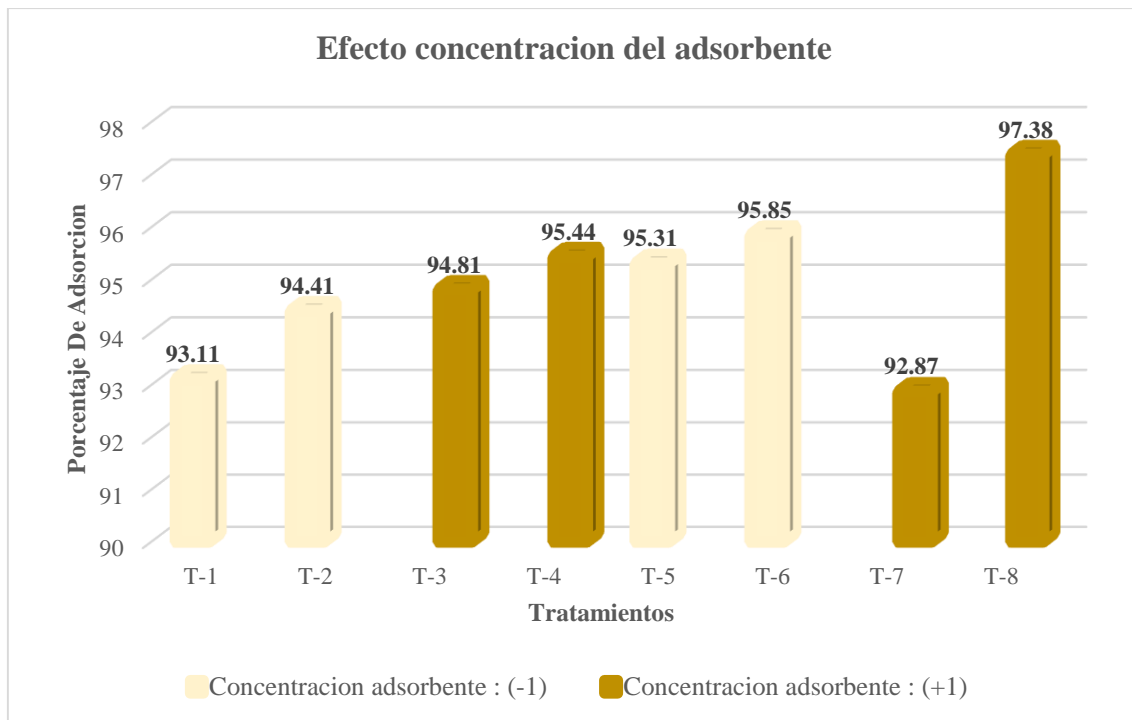


**Figura 10.** Efecto del pH

En la Figura 10, se puede apreciar cómo influye el efecto del pH en cada uno de los tratamientos para la adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca*, observándose que en los T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>7</sub> con un pH de 4, alcanzaron un porcentaje de adsorción del 94.03%, mientras que en los T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>8</sub> con un pH de 6, alcanzó un porcentaje de adsorción máximo del 95.77%, cabe destacar que existe mayor porcentaje de adsorción del plomo (Pb) a un pH de 6.

Según Barrera et al., (2023) en su investigación para la adsorción del plomo (Pb), trabajo a un pH de 4.0 y 6.0, logrando una remoción del 94.9% y 99.4%, respectivamente. Por lo que se valida los resultados de esta investigación. Por otro lado, el mínimo porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca* es del 94.03% a pH de 4 y al incrementar el pH a 6 alcanzó el 95.77%, es decir, a medida que el pH aumenta los grupos funcionales ácidos son desprotonados y la desprotonación de estos grupos funcionales ácidos aumenta las cargas negativas del adsorbente. Este aumento de las cargas negativas en la superficie del adsorbente facilita la adsorción de los iones metálicos (Forghani et al., 2020).

#### 4.2.2 Efecto de interacción óptima de concentración del adsorbente

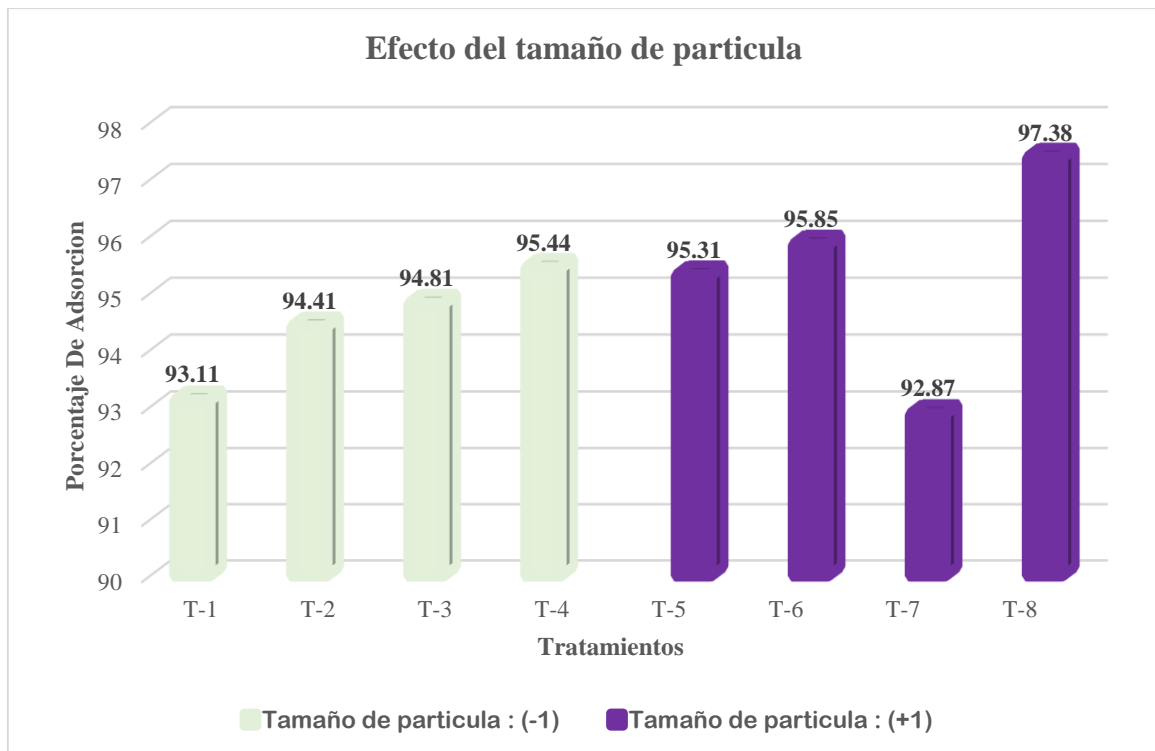


**Figura 11.** Efecto de concentración del adsorbente

En la Figura 11, se puede apreciar cómo influye el efecto de concentración del adsorbente en cada uno de los tratamientos para la adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca*, observándose que en los T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>6</sub> para una concentración de adsorbente de 10 g alcanzó un porcentaje de adsorción del 94.67%, mientras que en los T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>8</sub>, para una concentración de adsorbente de 20 g alcanzó un porcentaje máximo de adsorción del 95.13%, cabe destacar que para una concentración de 20 gramos de adsorbente de cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* existe mayor porcentaje de adsorción del plomo (Pb). Llegando a la conclusión de que, a mayor concentración de biomasa de *Musa paradisiaca*, mayor será el porcentaje de adsorción del metal plomo (Pb).

Según Johnson et al., (2023) que realizó ensayos utilizando materiales modificados altamente eficientes biocarbón deshidratado elaborado a partir de cáscara de plátano mediante síntesis hidrotermal, donde indica que a cantidades mayores a 1 gramo de cascara de plátano mejor será la eliminación de As(V) y Pb(II), a un pH de 7, tiempo de 24h y concentración del adsorbente 1g, logró una remoción de 98.7% (PBPB-As) y 90.3% (MBPB-Pb) respectivamente. Por lo que se valida los resultados de esta investigación.

### 4.2.3 Efecto de interacción óptima del tamaño de partícula



**Figura 12.** Efecto del tamaño de partícula

En la Figura 12, se puede apreciar cómo influye el efecto del tamaño de partícula en cada uno de los tratamientos para la adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca*, observándose que en los T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> para un tamaño de partícula de 212 (µm) alcanzó un porcentaje de adsorción del 94.44%, mientras que en los T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>7</sub> y T<sub>8</sub>, para un tamaño de partícula de 150 (µm) alcanzó un porcentaje de adsorción máximo del 95.35%, cabe destacar que existe mayor porcentaje de adsorción del plomo (Pb) a un tamaño de partícula de 150 (µm).

Según Gurreonero, (2023) que estudio el efecto del tamaño de partícula, concentración y velocidad de agitación en la adsorción de plomo y cromo empleando *Musa paradisiaca*, indico que a un tamaño de partícula de 250 µm, logró una remoción del 99.37 y 99.51% respectivamente, es decir, durante el proceso de adsorción de los iones de Pb (II) es fundamental determinar el tamaño de partícula que indica mayor área de superficie o sitios activos para lograr un eficiente retiro de los metales pesados en estudio por lo que se valida los resultados de esta investigación. Por otro lado según Montañez, (2021) que realizó ensayos a un tamaño de partícula de 212 µm, para la adsorción del plomo (II), logró un porcentaje de remoción del 97.50%. Por lo que también se valida los resultados de esta investigación.

#### 4.2.4 Evaluación de los efectos del pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula

Main effects plot for porcentaje

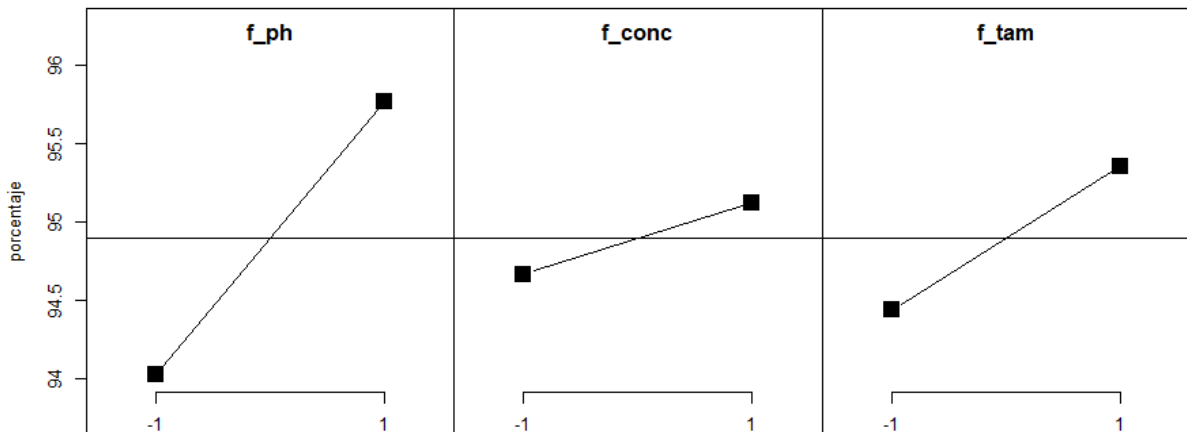


Figura 13. Gráfico de efectos principales para porcentaje

Para el análisis estadístico se empleó las siguientes nomenclaturas para cada factor:

- **pH:** (-1) = 4 y (+1) = 6
- **Concentración del adsorbente:** (-1) = (10 gramos) y (+1) = (20 gramos)
- **Tamaño de partícula:** (-1) = 212 μm y (+1) = 150 μm

Según la Figura 13, los resultados del análisis estadístico obtenidos fueron:

Para el efecto del pH individualmente se puede observar que el nivel de mayor efecto fue para un pH de 6, logrando alcanzar un porcentaje de adsorción del 95.77%, mientras que, para un pH de 4 alcanzó un porcentaje de adsorción del 94.03%. por lo tanto, cabe destacar que el pH es el factor ponderante ya que tiene una pendiente muy pronunciada, por lo que se concluye de que a pH mayores a 4 existe mayor por porcentaje de adsorción del metal plomo (Pb).

Para el efecto de concentración del adsorbente individualmente se puede observar que el nivel de mayor efecto fue para una concentración de 20g, logrando alcanzar un porcentaje de adsorción del 95.13%, mientras que, para una concentración de 10g, alcanzó un porcentaje de adsorción del 94.67%. por lo tanto, se concluye que a mayor concentración de *Musa paradisiaca* mayor es el porcentaje de adsorción del metal plomo (Pb).

Para el efecto del tamaño de partícula individualmente se puede observar que el nivel de mayor efecto fue para la malla N° 100 de 150μm, logrando alcanzar un porcentaje de adsorción del 95.35%, mientras que, para la malla N° 70 de 212μm, alcanzó un porcentaje de adsorción del 94.44%. por lo tanto, se concluye que a menores de 150μm la muestra de *Musa paradisiaca*, mayor será porcentaje de adsorción del metal plomo (Pb).

### Interaction plot matrix for porcentaje

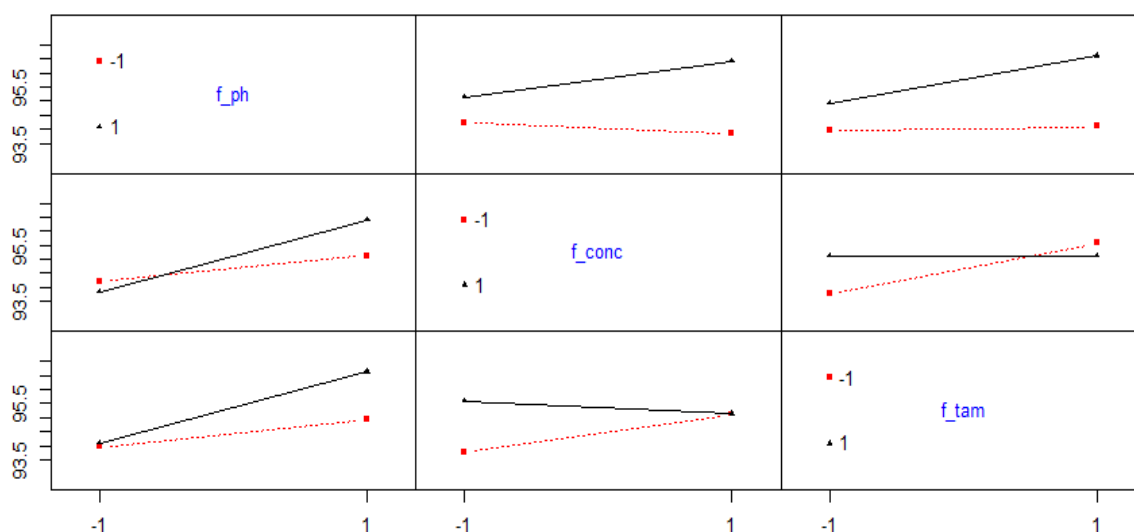


Figura 14. Matriz gráfica de interacción para porcentaje

Para el análisis estadístico se empleó las siguientes nomenclaturas para cada factor:

- **pH:** (-1) = 4 y (+1) = 6
- **Concentración del adsorbente:** (-1) = (10 gramos) y (+1) = (20 gramos)
- **Tamaño de partícula:** (-1) = 212  $\mu\text{m}$  y (+1) = 150  $\mu\text{m}$

Según la Figura 14, los resultados del análisis estadístico obtenidos fueron:

Para la interacción óptima de las variables del pH se puede observar que, teniendo un pH 4, y variamos la concentración de adsorbente de 10g a 20g y el tamaño de partícula de 212 $\mu\text{m}$  a 150 $\mu\text{m}$  existe una mínima interacción entre los niveles mínimos (-1) de los factores ya tiene una ligera disminución de efectos, mientras que, para un pH de 6, si variamos la concentración de 10g a 20g y el tamaño de partícula de 212 $\mu\text{m}$  a 150 $\mu\text{m}$  existe una interacción óptima de los variables positivos (+1). Por lo que se concluye de que existe una buena interacción entre el pH 6, concentración del adsorbente de 20g y tamaño de partícula de 150 $\mu\text{m}$  ya que tiene un incremento pronunciado de efectos.

Para la interacción óptima de las variables de la concentración del adsorbente se puede observar que, teniendo una concentración del adsorbente de 10g, y variamos el pH de 4 a 6 y el tamaño de partícula de 212 $\mu\text{m}$  a 150 $\mu\text{m}$  existe una interacción óptima entre los niveles mínimos (-1) de los factores ya tiene un incremento de efectos, mientras que, para una concentración de adsorbente de 20g, si variamos el pH de 4 a 6 y el tamaño de partícula de 212 $\mu\text{m}$  a 150 $\mu\text{m}$  existe una interacción óptima de los variables positivos (+1). Por lo que se concluye de que existe una interacción óptima entre la concentración del adsorbente de 20g y para un pH de 6, ya que tiene un incremento pronunciado de efectos.

Para la interacción óptima de las variables del tamaño de partícula se puede observar que, teniendo un tamaño de partícula a 212 $\mu$ m, y variamos el pH de 4 a 6 y la concentración del adsorbente de 10g a 20g, existe una interacción óptima entre los niveles mínimos (-1) de los factores, ya tiene un ligero incremento de efectos, mientras que, para un tamaño de partícula de 150 $\mu$ m, si variamos el pH de 4 a 6 y la concentración de 10g a 20g, existe una interacción óptima de los variables positivos (+1). Por lo que se concluye de que existe una buena interacción entre el tamaño de partícula de 150 $\mu$ m y el pH de 6, ya que tiene un incremento pronunciado de efectos.

### 4.3 Determinación del porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando *Musa paradisiaca* en las aguas procedentes de la cuenca del río Ramis - Azángaro.

#### 4.3.1 Turbiedad

**Tabla 10.**

*Resultados del análisis de la turbiedad del agua de la cuenca del río Ramis.*

Parámetro	Unidad	ECA	Resultado
Turbiedad inicial	NTU	5	9.70
Turbiedad final	NTU	5	<1

**Nota: \*\*:** Estándares de Calidad Ambiental para agua: Categoría 1, Subcategoría A.

En la Tabla N° 10, se muestran datos del análisis inicial y final de la turbiedad del agua. Según los Estándares de Calidad Ambiental, en la categoría 1 y subcategoría A, los datos iniciales obtenidos superan los valores establecidos de acuerdo a la subcategoría A “aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable”, por lo que es un indicativo de que los sólidos dispersos y las partículas en suspensión en el agua turbia actúan como transportadores de contaminantes microbiológicas y también propician la adhesión de metales pesados, compuestos orgánicos tóxicos y pesticidas. Además de partículas inertes en suspensión, el agua turbia puede contener también materia orgánica en suspensión, lo que inhibe el efecto del biocida, que se pierde al reaccionar con la materia orgánica, y esta reacción puede dar lugar a la formación de subproductos de la desinfección, como los trihalometanos y las tricloroaminas, nocivos para la salud humana. Por otro lado, al utilizar esta metodología a través de la *Musa paradisiaca* se logró disminuir las concentraciones del metal pesado plomo (Pb) y la turbiedad del río Azángaro de la cuenca Ramis de esa manera ofreciendo una alternativa de solución hacia la problemática ambiental que estaría deteriorando la salud de la población.

#### 4.3.2 Curva de calibración para el análisis del Pb por espectroscopia de absorción atómica

Tabla 11.

Curva de calibración para el análisis del Pb

Curva de Calibración	
Solución estándar de Pb (mg/L)	Absorbancia
0	0.00109
5	0.12990
10	0.25867
15	0.39425
20	0.49862

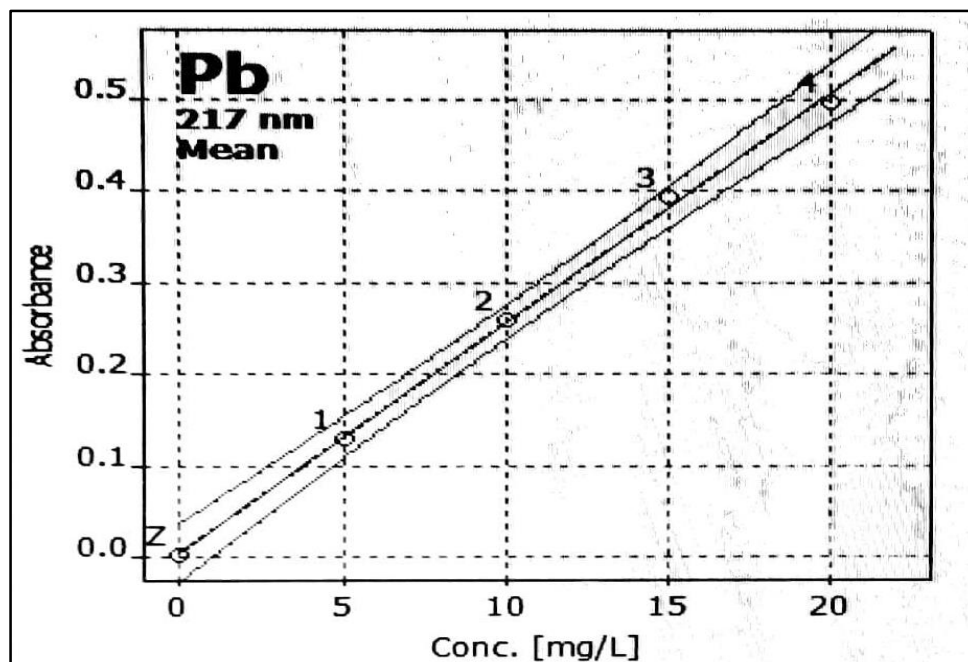


Figura 15. Gráfico de la curva de calibración

La Figura 15, el gráfico de la curva de calibración muestra el comportamiento de la absorbancia respecto a la concentración del plomo y se puede ver que cuando baja la absorbancia, la concentración del plomo aumenta, esto se debe a la caída de la pendiente.

#### 4.3.3 Concentración inicial y final del plomo (Pb)

El análisis de determinación de la concentración inicial del plomo (Pb) se realizó en “BHIOS Laboratorios”. Laboratorio de ensayo acreditado por el organismo de acreditación INACAL. mediante el método EPA Method 6020, Rev. 2 (Espectrofotometría de Absorción Atómica), ya que es importante conocer de manera general cuan contaminado y a que niveles de concentración se encuentra los

metales pesados en las aguas de la cuenca del río Ramis, como se detalla en el Anexo 7. INFORME DE ENSAYOS N° 7380 – 2023 y la concentración final se determinó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Juliaca, laboratorio de Ingeniería Ambiental y Forestal nivel 2, pabellón B, Siguiendo los lineamientos mediante el método EPA Method 200.7 Rev. 4.4 Espectrofotometría de Absorción Atómica), como se detalla en la Tabla N° 12.

**Tabla 12.**

*Concentración inicial y final del plomo (Pb).*

Concentración	N° Tratamientos	Concentración del plomo (Pb)			
		Replica I mg/L	Replica II mg/L	Replica III mg/L	Promedio mg/L
<b>C<sub>o</sub> INICIAL</b>	T <sub>0</sub>				<b>1.2425</b>
	T <sub>1</sub>	0.1796	0.0423	0.0348	<b>0.0856</b>
	T <sub>2</sub>	0.1286	0.0480	0.0319	<b>0.0695</b>
	T <sub>3</sub>	0.1375	0.0132	0.0427	<b>0.0645</b>
<b>C<sub>f</sub> FINAL</b>	T <sub>4</sub>	0.1028	0.0507	0.0166	<b>0.0567</b>
	T <sub>5</sub>	0.1223	0.0316	0.0211	<b>0.0583</b>
	T <sub>6</sub>	0.0764	0.0686	0.0096	<b>0.0515</b>
	T <sub>7</sub>	0.1398	0.0674	0.0585	<b>0.0886</b>
	T <sub>8</sub>	0.0676	0.0009	0.0290	<b>0.0325</b>

Fuente: BHIOS Laboratorios INFORME DE ENSAYOS N° 7380 – 2023

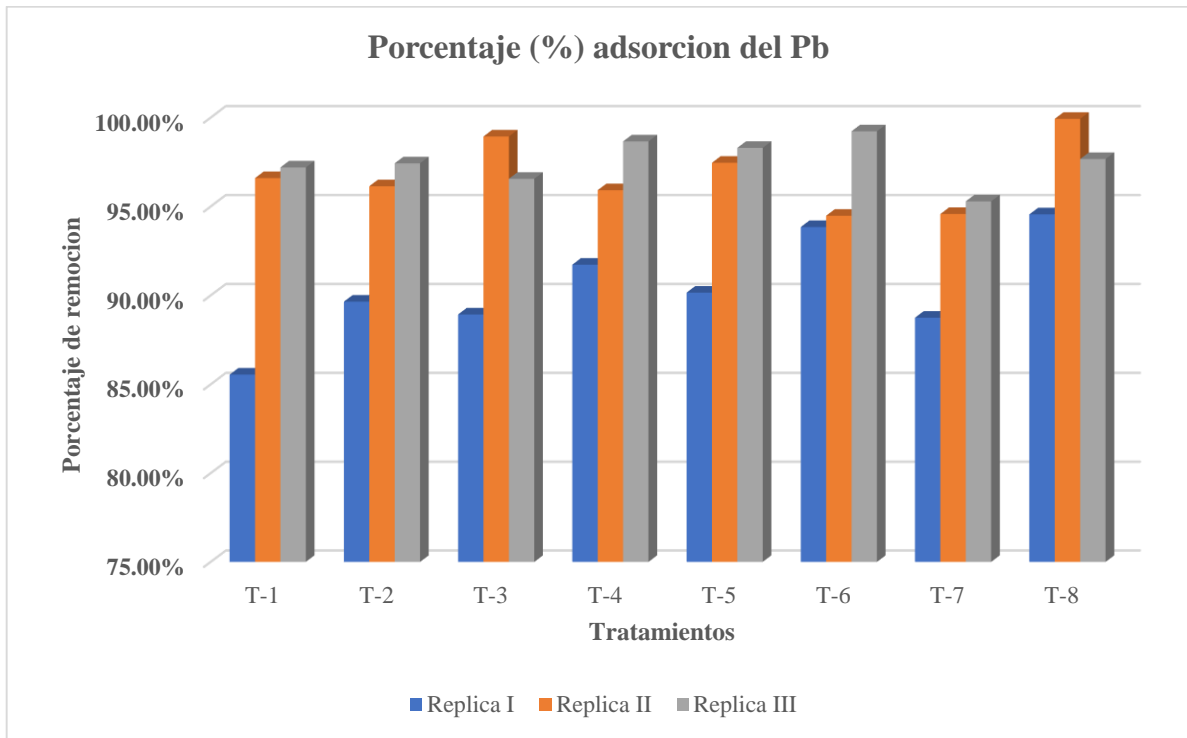
#### 4.3.4 Porcentaje de adsorción (%A)

**Tabla 13.**

*Porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb) en los tratamientos experimentales*

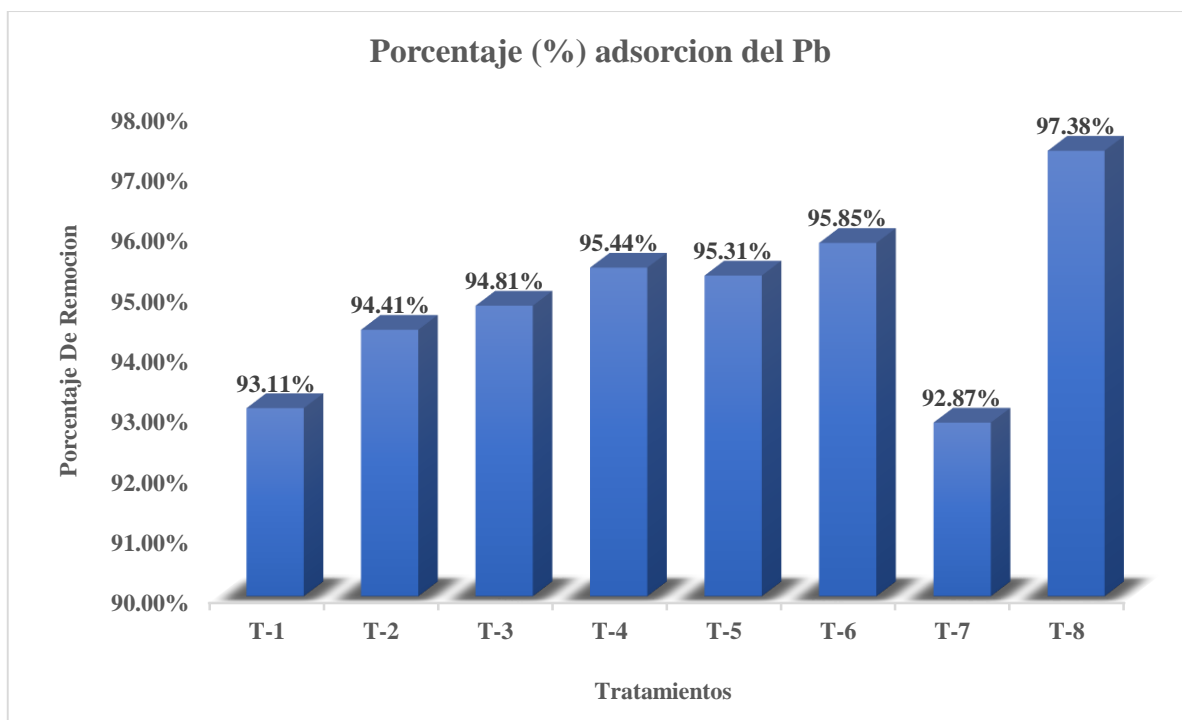
N° Tratamiento	pH	Concentración de adsorbente (g)	Tamaño de partícula (µm)	Porcentaje de adsorción del plomo (Pb)			
				Replica I (%)	Replica II (%)	Replica III (%)	Promedio (%)
T <sub>1</sub>	4	10	212	85.55	96.60	97.20	93.11
T <sub>2</sub>	6	10	212	89.65	96.14	97.43	94.41
T <sub>3</sub>	4	20	212	88.93	98.94	96.56	94.81
T <sub>4</sub>	6	20	212	91.73	95.92	98.66	95.44
T <sub>5</sub>	4	10	150	90.16	97.46	98.30	95.31
T <sub>6</sub>	6	10	150	93.85	94.48	99.23	95.85
T <sub>7</sub>	4	20	150	88.75	94.58	95.29	92.87
T <sub>8</sub>	6	20	150	94.56	99.93	97.67	97.38

En la Tabla 13, se aprecian los resultados de los tratamientos y las repeticiones del porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb), observándose que existe una diferencia no significativa entre ellas para los diferentes tratamientos realizados, los mayores porcentajes de remoción del plomo (Pb) se obtuvieron en los tratamientos T<sub>8</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> que sobrepasaron el 95 % de remoción de plomo (Pb) mientras que el tratamiento T<sub>7</sub> presentó un porcentaje de 92.87 % de remoción de plomo (Pb).



**Figura 16.** *Porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb) en los tratamientos experimentales*

En la Figura 16, se puede apreciar de que para cada tratamiento de acuerdo al diseño experimental  $n^k$  se realizó 3 réplicas con el fin de asegurar que los resultados sean consistentes y minimicen el efecto de los errores experimentales, observándose que en los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>5</sub> existe una diferencia significativa con respecto a las réplicas.



**Figura 17.** Porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb)

Se muestran los resultados de porcentaje (%) de adsorción del plomo (Pb) de los tratamientos, observándose que no existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos realizados, como se puede apreciar en la Figura 17, el tratamiento T<sub>8</sub> con un pH de 6, concentración del adsorbente de 20 g y tamaño de partícula de 150 µm es el tratamiento más eficiente logrando alcanzar un porcentaje de adsorción del 97.38%, conforme aumenta la masa del adsorbente disminuye la concentración del plomo (Pb) y a un pH de 6 se logró un porcentaje de remoción mayores a 94%, y el tratamiento con más bajo porcentaje de adsorción es el T<sub>7</sub> estaría presentando un 92.87% de adsorción de plomo (Pb).

#### 4.4 Análisis estadístico

##### 4.4.1 Diseño factorial $n^k$

El diseño experimental que se empleó en la presente investigación es un diseño factorial  $n^k$  con tres factores y 2 niveles, puesto que es una técnica estadística que nos permite planificar eficientemente la experimentación de modo que con un número mínimo de ensayos se logre determinar la significancia de cada una de las variables independientes evaluadas, el efecto de sus interacciones y se obtiene un modelo matemático empírico, que constituye la base para un proceso posterior de optimización, estos datos se analizaron mediante el software estadístico R y ANOVA.

### a) Identificación de variables

En el presente proyecto de investigación se efectuó la optimización eficaz del proceso de adsorción, encontrando los rangos más óptimos de dicho proceso y se trabajó en función a los factores y niveles establecidos anteriormente de la siguiente tabla:

**Tabla 14.**  
*Identificación de variables y niveles*

Factor	Unidad	Nivel Inferior (-)	Nivel Superior (+)
pH	**	4	6
Concentración del adsorbente	gramos	10	20
Tamaño de partícula	µm	212	150

### b) Modelado matemático

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	93.1167	2.4899	37.398	<2e-16 ***
f_ph1	1.2900	3.5212	0.366	0.719
f_conc1	1.6933	3.5212	0.481	0.637
f_tam1	2.1900	3.5212	0.622	0.543
f_ph1:f_conc1	-0.6633	4.9797	-0.133	0.896
f_ph1:f_tam1	-0.7433	4.9797	-0.149	0.883
f_conc1:f_tam1	-4.1267	4.9797	-0.829	0.419
f_ph1:f_conc1:f_tam1	4.6300	7.0424	0.657	0.520

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 4.313 on 16 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.132, Adjusted R-squared: -0.2477  
F-statistic: 0.3476 on 7 and 16 DF, p-value: 0.9193

**Figura 18.** *Software estadístico R-Studio*

El modelo matemático aplicado se realizó mediante el software estadístico donde cada interacción mostrada según la Figura 18, son los efectos de cada uno de los factores, asimismo el intercepto es muy significativo y que la interacción entre efectos pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula no es muy significativo debido a que tienen un P\_value superiores a 0.05 y teniendo una confiable de 0.2477, sin embargo al tener un P\_value de 0.9193 podemos afirmar que ninguno de los efectos es estadísticamente significativo.

**c) Matriz de diseño**

Para la matriz de diseño se determinó una combinación de valores máximos y mínimos de los factores establecidos para la determinación del número de pruebas experimentales, para un diseño factorial  $n^k$  se tiene 8 tratamientos, como se visualiza en la siguiente tabla.

**Tabla 15.**  
*Matriz de diseño factorial*

N°	f - pH $\alpha_i$	f-concentración $\beta_j$	f-tamaño $\lambda_k$	Blocks	Porcentaje de adsorción de Pb
1	4	10 g	212 $\mu\text{m}$	.1	<b>85.55</b>
2	4	10 g	150 $\mu\text{m}$	.1	<b>89.65</b>
3	4	20 g	212 $\mu\text{m}$	.1	<b>88.93</b>
4	4	20 g	150 $\mu\text{m}$	.1	<b>91.73</b>
5	6	10 g	212 $\mu\text{m}$	.1	<b>90.16</b>
6	6	10 g	150 $\mu\text{m}$	.1	<b>93.85</b>
7	6	20 g	212 $\mu\text{m}$	.1	<b>88.75</b>
8	6	20 g	150 $\mu\text{m}$	.1	<b>94.56</b>
9	4	10 g	212 $\mu\text{m}$	.2	<b>96.60</b>
10	4	10 g	150 $\mu\text{m}$	.2	<b>96.14</b>
11	4	20 g	212 $\mu\text{m}$	.2	<b>98.94</b>
12	4	20 g	150 $\mu\text{m}$	.2	<b>95.92</b>
13	6	10 g	212 $\mu\text{m}$	.2	<b>97.46</b>
14	6	10 g	150 $\mu\text{m}$	.2	<b>94.48</b>
15	6	20 g	212 $\mu\text{m}$	.2	<b>94.58</b>
16	6	20 g	150 $\mu\text{m}$	.2	<b>99.93</b>
17	4	10 g	212 $\mu\text{m}$	.3	<b>97.20</b>
18	4	10 g	150 $\mu\text{m}$	.3	<b>97.43</b>
19	4	20 g	212 $\mu\text{m}$	.3	<b>96.56</b>
20	4	20 g	150 $\mu\text{m}$	.3	<b>98.66</b>
21	6	10 g	212 $\mu\text{m}$	.3	<b>98.30</b>
22	6	10 g	150 $\mu\text{m}$	.3	<b>99.23</b>
23	6	20 g	212 $\mu\text{m}$	.3	<b>95.29</b>
24	6	20 g	150 $\mu\text{m}$	.3	<b>97.67</b>

**Fuente:** Software estadístico R

#### 4.4.2 Análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza se realizó con los datos de la Tabla 15 para el análisis de la prueba de hipótesis basada en el diseño factorial  $n^k$ , que presenta los resultados de los ensayos experimentales realizados, y utilizando el software estadístico R se desarrolló el diseño factorial, siendo el más apropiado para esta investigación.

##### a) Análisis de varianza

```
> experimento_resp=add.response(design = experimento,response = porcentaje)
> MEPlot(experimento_resp)
> IAPlot(experimento_resp)
> #-----Tabla ANOVA-----#
> anova=aov(modelo)
> summary(anova)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
f_ph	1	18.25	18.253	0.981	0.337	
f_conc	1	1.25	1.247	0.067	0.799	
f_tam	1	5.00	4.996	0.269	0.611	
f_ph:f_conc	1	4.09	4.092	0.220	0.645	
f_ph:f_tam	1	3.71	3.705	0.199	0.661	
f_conc:f_tam	1	4.92	4.923	0.265	0.614	
f_ph:f_conc:f_tam	1	8.04	8.039	0.432	0.520	
Residuals	16	297.57	18.598			

**Figura 19.** Análisis de varianza

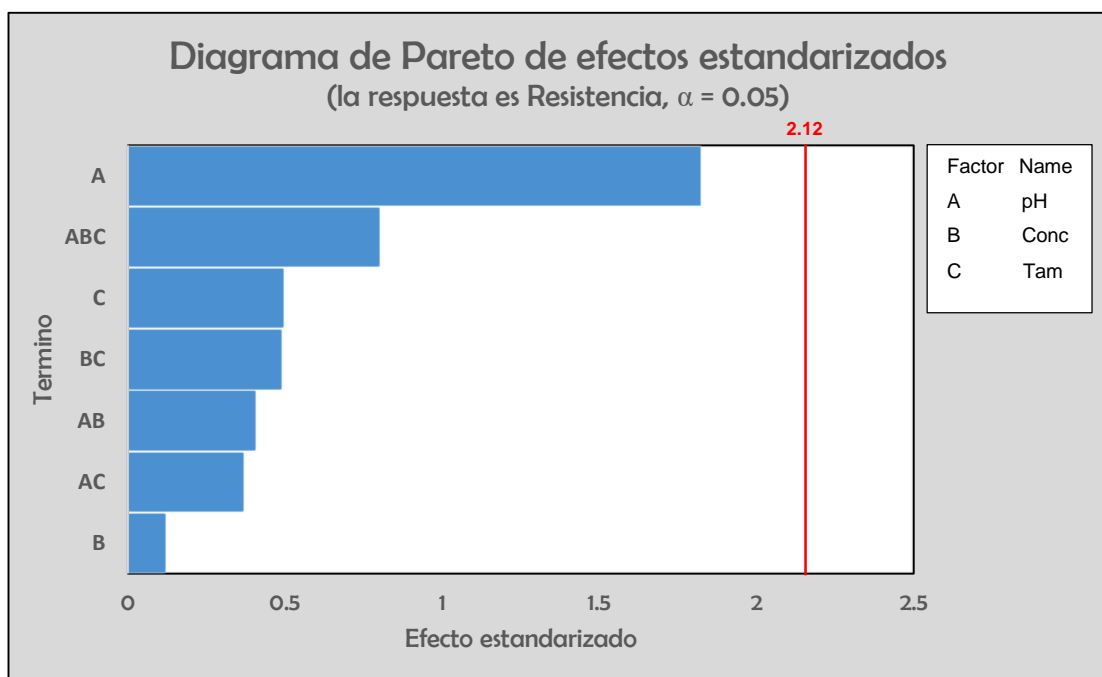
Según el análisis estadístico los resultados obtenidos fueron:

- Para un solo factor independientemente del pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula, el valor de P\_value es de 0.337, 0.799 y 0.611; siendo mayores al valor de alfa (0.05) se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, con una significancia del 5% se concluye que no hay interacción entre los niveles de pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula, independientemente, sobre la adsorción de plomo (Pb).
- Para la interacción de dos factores del (pH; concentración de adsorbente), (pH; tamaño de partícula) y (concentración del adsorbente; tamaño de partícula), el valor de P\_value es de 0.645, 0.661 y 0.614 respectivamente; siendo mayores al valor de alfa (0.05) se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, con una significancia del 5% se concluye que no hay interacción entre el pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula, independientemente, sobre la adsorción de plomo (Pb).
- Para la interacción de tres factores del (pH; concentración de adsorbente; tamaño de partícula), el valor de P\_value es de 0.520; siendo mayores al valor de alfa (0.05) se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, con una significancia del 5%

se concluye que no hay interacción entre los de pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula, independientemente, sobre la adsorción de plomo (Pb).

#### 4.4.3 Diagrama de Pareto

Para el diagrama de Pareto de efectos estandarizados se corrió el modelo DOE diseño de experimentos y ecuación de regresión, representativas del tratamiento realizado con la biomasa de *Musa paradisiaca* en la adsorción del plomo (Pb) contenido en aguas de la cuenca del río Ramis - Azángaro, con los factores y las interacciones de los factores de pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula.



**Figura 20.** Diagrama de Pareto

Según Porras & Martínez, (2019) manifiestan que un valor  $P\_value < 0.05$  que vendría a ser el 5% indica un efecto significativo, y un valor  $P\_value > 0.05$  es un efecto no significativo. Por otro lado, la línea roja es un valor crítico, ya que nos ayuda a determinar si el efecto es significativo o no, cuando la barra del efecto correspondiente traspase esta línea, eso indicara que es un efecto significativo, si no lo hace indica que es un efecto no significativo al nivel  $\alpha = 0.05$ .

Por lo tanto, Según el análisis de varianza los resultados obtenidos fueron:

En la Figura 20, diagrama de Pareto de efectos estandarizados, se observa que el factor pH, tiene un valor P de 0.337 y es mayor que 0.05 por lo que es un efecto no significativo; seguidamente el factor pH, concentración de adsorbente y tamaño de

partícula tiene un valor P de 0.520 y es mayor que 0.05 por lo que es un efecto no significativo; el factor tamaño de partícula tiene un valor P de 0.611 y es mayor que 0.05 por lo que es un efecto no significativo; el factor concentración de adsorbente y tamaño de partícula tiene un valor P de 0.614 y es mayor que 0.05 por lo que es un efecto no significativo; el factor pH y concentración de adsorbente tiene un valor P de 0.645 y es mayor que 0.05 por lo que es un efecto no significativo; el factor pH y tamaño de partícula tiene un valor P de 0.661 y es mayor que 0.05 por lo que es un efecto no significativo y finalmente el factor concentración de adsorbente tiene un valor P de 0.799 y es mayor que 0.05 por lo que es un efecto no significativo. Entonces de acuerdo al diagrama de Pareto se llega a la conclusión de que ninguno de los valores alcanza el valor crítico, pero el factor que más se aproxima es el pH, esto se debe a que fue el valor más cercano a 0.05.

#### 4.4.4 Prueba de normalidad

Para la prueba de normalidad se utilizó la prueba de Shapiro Wilk a través del software estadístico R.

##### a) Prueba de Hipótesis

$H_0$ : Los datos pertenecen a una población con distribución normal

$H_1$ : Los datos no pertenecen a una población con distribución normal

A un nivel de confianza del 95% y con un margen de error del 5%, los resultados se muestran en la tabla 16.

**Tabla 16.**

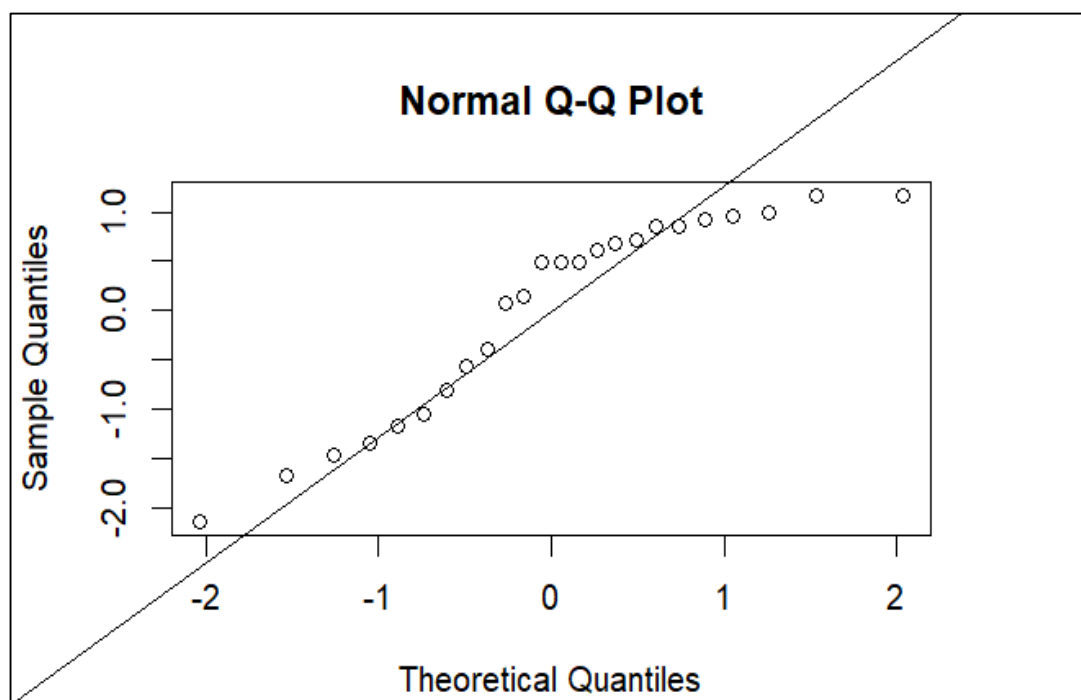
*Prueba de normalidad*

Tipo de Prueba de Estadístico	Estadístico	P – value
W de Shapiro - Wilk	0.88741	0.1175

**Fuente:** Software estadístico R

Como se observa en la Tabla 16, el valor de p es  $>$  que 0.05 (coeficiente de variabilidad), lo que sugiere que los datos tienden a seguir una distribución normal. Esto implica que la hipótesis nula, que establece que los datos pertenecen a una población con distribución normal, es aceptada, mientras que la hipótesis alternativa se rechaza, debido a que no tiene una distribución de datos variado.

## Diagrama de prueba de normalidad



**Figura 21.** Diagrama prueba de normalidad

En la Figura 21, se puede observar que el nivel de significancia del 95% para la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk es de 0.1175 y mayor que 0.05 para los factores pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula; por lo tanto, se deduce que si bien los residuos tienen una distribución normal pero no tienen una varianza constante esto implica que es una línea recta con más factores considerados ya que la distancia respecto del modelo matemático no es constante porque se está comparando con un modelo lineal.

Los resultados alcanzados concuerdan con los resultados obtenidos por Gurreonero, (2023) donde los resultados obtenidos provienen de una distribución normal con 95% de confianza mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros de Tamboraque, dado que el P-value en la prueba de Shapiro Wilk fue superior a 0.05. Además, Porras & Martinez, (2019) refiere que la aplicación de la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk en un nivel de significancia del 95% es 0.571, 10 veces mayor que 0.05 para los tamaños de poros; por lo tanto, se deduce que el modelo matemático lineal para esta investigación es el más adecuado.

#### 4.4.5 Grafica de interacción triple

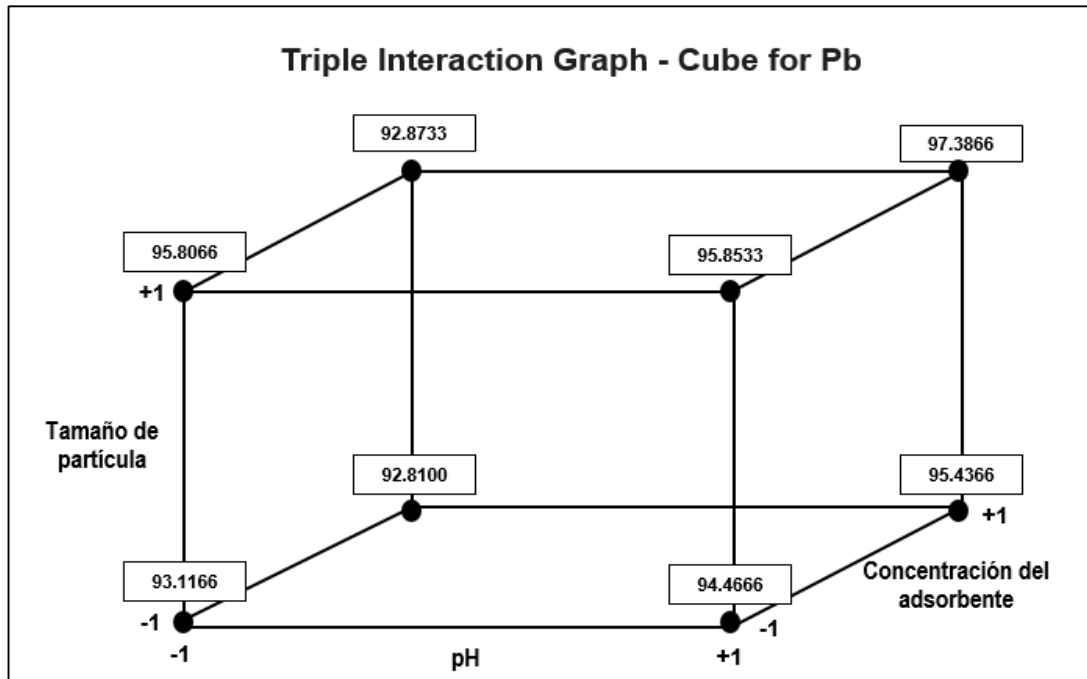


Figura 22. Grafica de interacción triple - cubo

En la Figura 22, se muestra la adsorción de plomo (Pb) con la interacción de las variables y sus niveles; donde se obtuvo una media ajustada de 97,38% de adsorción del plomo (Pb) con un pH 6, con una concentración del adsorbente de *Musa paradisiaca* de 20 gramos y un tamaño de partícula de 150  $\mu\text{m}$ , con la cual, se registró el mayor porcentaje de adsorción de plomo (Pb). Asimismo, se obtuvo una media ajustada de 92.81% de adsorción del plomo (Pb) con un pH de 4, concentración de adsorbente de 20 gramos y un tamaño de partícula de 150  $\mu\text{m}$ , con la cual, se registró en menor porcentaje de adsorción del plomo (Pb).

Según Barrera et al., (2023) donde reportan que para un pH de 6 y concentración de biomasa 20 mg/L existen mayor porcentaje de remoción del plomo (Pb) donde los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con la investigación. Por otro lado, el pH es un factor decisivo que gobierna el fenómeno de la adsorción influyendo la carga superficial del adsorbente, controlando los factores como la especiación, la carga negativa superficial del adsorbente biomasa de *Musa paradisiaca* a valores de pH 6 influye la sorción del Pb (II), la carga superficial negativa conduce a la desprotonación de los grupos funcionales de la biomasa, estos grupos funcionales desprotonados sirven como sitios de unión volviéndose accesibles a los iones del metal causando una mejor absorción (Basu et al., 2017).

#### 4.4.6 Prueba de hipótesis

HE<sub>1</sub> : La identificación de lignina de la cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* que actúan en la adsorción del plomo (Pb) son los radicales hidroxilos el cual podrá ser determinado por Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier.

De acuerdo a los resultados obtenidos aceptamos la hipótesis, puesto que los grupos funcionales encontrados en la *Musa paradisiaca* son los grupos amidas (-NH), grupos alcanos (C-H), grupos -OCH<sub>3</sub> y -CH<sub>2</sub>OH, grupos carboxilos, ácidos carboxílicos, grupos fosfatos y radicales hidroxilos (-OH), que se han identificado dentro de los picos en un rango de 3500 a 1500  $cm^{-1}$  según el libro de Química Orgánica Básica Aplicada y Castro, (2015), lo que indican presencia de celulosa, compuestos pecticos, proteínas, hemicelulosas, y lignina.

HE<sub>2</sub> : Los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de la partícula son los que influyen significativamente en la adsorción del metal plomo (Pb).

En este caso aceptamos la hipótesis, afirmando que los factores de pH, concentración del adsorbente de *Musa paradisiaca* y tamaño de partícula influyeron significativamente en la adsorción del metal plomo (Pb) de las aguas de la cuenca del río Ramis. De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el software estadístico R, el factor pH tuvo mayor efecto logrando una adsorción del 95.77% para un pH de 6, seguidamente de la concentración del adsorbente logrando un 95.13% de adsorción para 20g y finalmente a una malla N° 100 de 150  $\mu m$  logró alcanzar un porcentaje de adsorción del 95.35%.

HE<sub>3</sub> : La adsorción del plomo (Pb) empleando cáscara de plátano de *Musa paradisiaca* presenta un 65% de eficiencia de remoción.

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos aceptamos la hipótesis, debido a que la eficiencia máxima de remoción del plomo (Pb) aplicando biomasa de *Musa paradisiaca* es del 97.38% de adsorción para un pH de 6, concentración de adsorbente de 20 gramos y tamaño de partícula de 150  $\mu m$ . Se puede evidenciar que la aplicación de la *Musa paradisiaca* para tratar efluentes es una de las tecnologías más ecológicas, fácil aplicables y sostenible con el medio ambiente.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

En este trabajo de investigación se determinó la adsorción de los iones del metal plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca* variando los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula, con la finalidad de reducir las concentraciones del metal plomo (Pb) en aguas del río Azángaro de la cuenca Ramis, de esa manera aprovechando su disponibilidad y bajo costo, por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se llega a las siguientes conclusiones:

El análisis para la identificación de la lignina presentes en la biomasa de *Musa paradisiaca* se realizó mediante Espectroscopia de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR), este análisis permitió reconocer diversos grupos funcionales como amidas (-NH), grupos alcanos (C-H), grupos -OCH<sub>3</sub> y -CH<sub>2</sub>OH, grupos carboxilos, ácidos carboxílicos, grupos fosfatos y radicales hidroxilos (-OH), estos grupos se han identificado por la aparición de los picos 3286.72, 2919.80, 1734.58 y 1375.53  $cm^{-1}$ , contenido en la lignina, celulosa, compuestos pecticos, proteínas y hemicelulosas. Según el libro de Química Orgánica Básica Aplicada y Castro, (2015), los picos de 3500 a 1500  $cm^{-1}$ , son indicativos de la presencia de lignina en la biomasa de *Musa paradisiaca* en mayor concentración, ya que los compuestos de la lignina presentan radicales OH- en la estructura capaces de formar enlaces con iónicos metálicos, lo que permite adsorberlos en la superficie del material adsorbente provocando inmovilización del metal plomo (Pb) en el agua.

Se determinó la interacción óptima de los efectos del pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula siguiendo un diseño factorial estadístico, resultando que para un pH de 6 se logró mayores resultados de adsorción con un 95.77%, siendo este el de mayor influencia, por otro lado, se determinó el efecto de la concentración del adsorbente que para 20g logro un porcentaje de 95.13% de adsorción del plomo (Pb) y finalmente se determinó el efecto del tamaño de partícula lográndose que a 150  $\mu m$  se obtuvo un porcentaje de adsorción del 95.35%. Cabe señalar que, quien mayor interacción presento en la adsorción del plomo (Pb) es el efecto pH, debido a que los grupos funcionales ácidos son desprotonados y la desprotonación de los grupos funcionales ácidos aumenta las cargas negativas del adsorbente y este aumento facilita la adsorción de los iones metálicos.

Finalmente, se determinó el porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de *Musa paradisiaca* en aguas del río Azángaro de la cuenca Ramis, demostrando que el T<sub>8</sub> es el tratamiento más eficiente con un pH de 6, concentración de adsorbente de *Musa paradisiaca* de 20 gramos y para un tamaño de partícula de 150 µm, logrando reducir la concentración del metal plomo (Pb) de 1.2425 mg/L a 0.0325 mg/L, lo que representa un valor del 97.38% de adsorción del plomo (Pb). Deduciendo que a un pH 6 moderadamente ácidos existe movilidad de metales y mayor porcentaje de remoción, y a mayor concentración del adsorbente de *Musa paradisiaca* y partículas inferiores a 150 µm existe mayor porcentaje de adsorción del plomo (Pb). Por lo tanto, esta tecnología aplicada para tratamiento de efluente resulta ser viable, ecológica, económicamente factible y sostenible con el medio ambiente.

## 5.2 Recomendaciones

Considerando los resultados obtenidos experimentalmente, y con la finalidad de mejorar y complementar la adsorción de plomo (Pb) en aguas del río Azángaro de la cuenca Ramis, mediante el uso de la biomasa de la cascara de plátano (*Musa paradisiaca*), para los siguientes trabajos futuros:

- Se sugiere llevar a cabo ensayos utilizando clarificantes como el carbón activado para eliminar la coloración amarillenta que la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) deja en el agua filtrada.
- Se sugiere proseguir con la investigación enfocadas en la optimización del proceso de adsorción, mediante la modificación de las variables independientes, con el objetivo de incrementar el porcentaje de adsorción de la biomasa de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*).
- Se recomienda para próximas investigaciones realizar cortes del mismo tamaño (uniforme) a la cascara de *Musa paradisiaca*, a fin de obtener un secado uniforme en la estufa.
- Se recomienda para próximas investigaciones trabajar con plátanos verdes que con plátanos maduros debido a que la biomasa verde está compuesto por el 60% de lignina capaces remover iones del metal plomo (Pb) y logrando obtener mayor porcentaje de adsorción.
- Estudiar nuevos adsorbentes que sean más efectivos en pequeñas cantidades y sostenibles con el medio ambiente, además de realizar investigaciones sobre la adsorción de metales pesados.
- Se recomienda trabajar con biomásas residuales o especies forestales que presentan en su composición lignina y tanino capaces de remover los iones de los metales pesados. Además, estas biomásas deben ser ecológicamente amigables con el medio ambiente, reduciendo así el impacto negativo que pueden causar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, A. A. (2021). Caracterización físicoquímica de las aguas superficiales para el riego de la subcuenca del río Carash con métodos multivariados, San Marcos, Huari-Ancash, 2020. In *Universidad Nacional Santiago Antuñez de Mayolo*. [http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/raci/v40/v40\\_a01.pdf](http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/raci/v40/v40_a01.pdf)
- Aguirre, N. Y. (2017). Adsorción de metales pesados (Pb y As) con carbón activado a partir de semillas de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/7397/Aguirre\\_Achaquihui\\_Nathali\\_Yola.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/7397/Aguirre_Achaquihui_Nathali_Yola.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Albarracín, F. (2014). *Capacidad de adsorción para remover el ion metálico Pb (II) por el tanino de la Cáscara de Tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet), de las aguas del río Ramis Puno, Perú* (Issue 11) [Universidad Nacional del Altiplano]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3225878>
- Alvarez, M. B. (2008). *Metodología de la Investigación Científica*. February 2008. [https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Alvarez-16/publication/341639068\\_Metodologia\\_de\\_la\\_Investigacion\\_Cientifica/links/5ecc802f92851c11a88a9fd2/Metodologia-de-la-Investigacion-Cientifica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Alvarez-16/publication/341639068_Metodologia_de_la_Investigacion_Cientifica/links/5ecc802f92851c11a88a9fd2/Metodologia-de-la-Investigacion-Cientifica.pdf)
- Alvarez, R. J. (2018). *Evaluación de Metales Pesados en Agua de Río Ramis Sector Crucero - San Anton y su Interpretación en Software* [Universidad Nacional del Altiplano]. [https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE\\_992703aa4766cdce5df83b5059a95f7c](https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_992703aa4766cdce5df83b5059a95f7c)
- Amirnia, S. (2015). Biosorption Processes for Removal of Toxic Metals from Wastewaters. *Chemical Engineering Commons*. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/2929>
- ANA. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1475.pdf>
- Apaza, R. W. (2020). Monitoreo de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro e intercuenca Ramis - 2022. *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*, 2500300. <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/494706-autoridad-nacional-del-agua-evalua-la-calidad-de-los-rios-en-la-cuenca-ramis>

- Arias, J. P. (2018). *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica, del agua de consumo humano del centro poblado de Pampa Hermosa, distrito de Chontabamba, Provincia de Oxapampa- 2018* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026\\_70261078\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026_70261078_T.pdf)
- Ashfaq, A., Nadeem, R., Bibi, S., Rashid, U., Hanif, M. A., Jahan, N., Ashfaq, Z., Ahmed, Z., Adil, M., & Naz, M. (2021). Efficient Adsorption of Lead Ions from Synthetic Wastewater Using Agrowaste-Based Mixed Biomass (Potato Peels and Banana Peels). *MDPI*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w13233344>
- Ayqui, E. H. (2019). Adsorción de Pb ( II ) mediante aserrín Xantado de las aguas del río Jatun Ayllu Ocuwiri-Puno [Universidad Nacional de Puno]. In *Repositorio Institucional UNA-PUNO* (Issue II). [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/12625/Ayqui\\_Sucto\\_Edgar\\_Henry.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/12625/Ayqui_Sucto_Edgar_Henry.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Barrera, R. H., Horruitiner, T. B., Lamela, O. C., & Perez, R. M. (2023). Adsorción de cromo (VI) y plomo (II) sobre biomasa seca de *Kluyveromyces marxianus* CCEBI 2011. *Revista Cubana de Química*, 34(1), 111–130. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v34n1/2224-5421-ind-34-01-111.pdf>
- Basu, S., Duren, W., Evans, C. R., Burant, C. F., Michailidis, G., & Karnovsky, A. (2017). Sparse network modeling and metscape-based visualization methods for the analysis of large-scale metabolomics data. *Journal of Molecular Liquids*, 33(January), 1545–1553. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btx012>
- Bellido, J. V. (2018). *Niveles de Plomo en los suelos de la urbanización primavera, Distrito de el Agustino* [Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://1library.co/document/y8k5r82y-niveles-plomo-suelos-urbanizacion-primavera-distrito-agustino.html>
- Brudey, T., Largitte, L., Jean-Marius, C., Tant, T., Dumesnil, P. C., & Lodewyckx, P. (2016). Adsorption of lead by chemically activated carbons from three lignocellulosic precursors. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 120, 450–463. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.06.018>

- Burgos, A. L., Bocco, G., & Ramírez, J. S. (2015). Dimensiones sociales en el manejo de cuencas. *Centro de Investigaciones En Geografía Ambiental*, 0–318. [https://www.researchgate.net/profile/Ana-Burgos-5/publication/303383018\\_Dimensiones\\_Sociales\\_en\\_el\\_Manejo\\_de\\_Cuencas/links/573f731408aea45ee844feb1/Dimensiones-Sociales-en-el-Manejo-de-Cuencas.pdf#page=20](https://www.researchgate.net/profile/Ana-Burgos-5/publication/303383018_Dimensiones_Sociales_en_el_Manejo_de_Cuencas/links/573f731408aea45ee844feb1/Dimensiones-Sociales-en-el-Manejo-de-Cuencas.pdf#page=20)
- Castro, B. (2015). Uso de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) maduro deshidratada (seca) como proceso de bioadsorción para la retención de metales pesados, Plomo y Cromo en aguas contaminadas. [Universidad de Guayaquil]. In *Universidad de Guayaquil* (Issue Proyecto de factibilidad técnica, económica y financiera del cultivo de ostra del pacífico en la parroquia Manglaralto, cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena). <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/91c77a61-8708-4d9f-9f1e-75eb23ddf67b/content>
- Cerna, L. D., & Elias, L. E. (2015). *Eficiencia de la remoción de plomo en agua residual sintética por bacterias aisladas del Dren 4000 en Lambayeque, 2013* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/815/BC-TES-3624.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chalco, Q. Y. (2018). Adsorción de plomo (Pb) y cobre (Cu) con biomasa de la cáscara de plátano “*Musa paradisiaca*”, en efluentes de la unidad minera Carahuacra, Yauli - La Oroya. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*, 103. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Chen, Z. liang, Zhang, J. qiang, Huang, L., Yuan, Z. hui, Li, Z. jun, & Liu, M. chao. (2019). Removal of Cd and Pb with biochar made from dairy manure at low temperature. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 201–210. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61987-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61987-2)
- Cornejo, D. A., & Pacheco, M. E. (2009). Contaminación de aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno - Perú. *Revista de Investigaciones*, 5(4). <https://doi.org/10.26788/riepg.v5i4.13>
- Covarrubias, S. A., & Peña, J. J. (2017). *Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación* (Vol. 33). <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>

- Deng, W., Wang, G., & Zhang, X. (2015). A novel hybrid water quality time series prediction method based on cloud model and fuzzy forecasting. *Get Rights*, 149, 39–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2015.09.017>
- Devia, J., & Saldarriaga, L. (2013). Planta piloto para obtener colorante de la semilla de achiote (*Bixa orellana*). *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 8–22. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/899/805>
- Fernandez, A., & Mortier, C. (2005). Evaluacion de la condicion del agua para consumo humano en Latinoamerica. *Universidad de Buenos Aires*, 17–32. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31367666/01\\_Capitulo\\_01-libre.pdf?1392343873=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D01\\_Capitulo\\_01.pdf&Expires=1712439510&Signature=gEkrIXk6WdJpvqXBaqVDWN4CEeJjq8quRTJuCFaHQTGimihW9qgnIToJs~wYQmVqazYt5nR8W](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31367666/01_Capitulo_01-libre.pdf?1392343873=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D01_Capitulo_01.pdf&Expires=1712439510&Signature=gEkrIXk6WdJpvqXBaqVDWN4CEeJjq8quRTJuCFaHQTGimihW9qgnIToJs~wYQmVqazYt5nR8W)
- Flores, G. L. (2018). Evaluación físico - química de metales toxicos en el rio grande, Ananea - Crucero Puno. *Revista de Investigaciones de La Escuela de Posgrado*, 051, 548–561. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2018.2.79> evaluación
- Forghani, M., Azizi, A., Livani, M., & Kafshgari, L. (2020). Adsorption of lead(II) and chromium(VI) from aqueous environment onto metal-organic framework MIL-100(Fe): Synthesis, kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Journal of Solid State Chemistry*, 291, 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2020.121636>
- Gapusan, R. B., & Balela, M. D. L. (2020). Adsorption of anionic methyl orange dye and lead(II) heavy metal ion by polyaniline-kapok fiber nanocomposite. *Materials Chemistry and Physics*, 243(September 2019), 122682. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122682>
- Garcia, A. V. (2016). Elaboracion de una Biorresina intercambiadora de cationes a partir de cascara de platano o guineo para eliminar metales pesados en aguaa contaminada. *Escuela Especializada En Ingenieria*. <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2021/05/1223499/2016-elaboracion-de-una-bioresina.pdf>

- García, B. A. (2017). Políticas públicas medio ambientales y la contaminación ambiental en el mercado “la paradita”, Jan Jacinto – 2016 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Universidad Cesar Vallejo*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/10271>
- García, C., Moreno, J. L., Hernandez, T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente- CCMA-CSIC*, 125–138. <https://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- García, I. (2017). *Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (Musa paradisiaca) en Pucallpa* [Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/3626/000003196T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Godoy, L. G. (2020). *Contaminación del agua potable en viviendas de la zona metropolitana de Maynas. 2017 propuesta de un programa de conservación del agua* [Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/6734/Godoy\\_Tesis\\_Doctorado\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/6734/Godoy_Tesis_Doctorado_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gonzales, A. E., & Guerra, J. C. (2016). Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo ( Pb ) y zinc ( Zn ) con cáscara de plátano ( Musa Sapientum ), en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico [Universidad Nacional de Trujillo]. In *Universidad Nacional de Trujillo*. [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8756/GONZALES JIMENEZ%20 ALEJANDRO EDER%3B GUERRA MORENO%20 JULIO CESAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8756/GONZALES%20JIMENEZ%20ALEJANDRO%20EDER%3B%20GUERRA%20MORENO%20JULIO%20CESAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gurreonero, J. C. (2023). *Efecto del tamaño de partícula, concentración y velocidad de agitación en la adsorción de Plomo y Cromo empleando Musa paradisiaca*. [Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/05598951-696e-4ac5-b5e4-accb7b35a83/content>
- Hernández, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 619–628. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>

- Hernandez, V., Najera, M. M., Cardenas, J. F., Martinez, V. M., & Acosta, I. (2020). Utilidad de la cáscara de aguacate (*Persea americana*) para la eliminación de Cromo (VI) de aguas contaminadas. *Transversalidad Científica y Tecnológica*, 4(1)(October), 100–114. [https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Reyna-Fuentes/publication/349949728\\_situacion\\_actual\\_de\\_las\\_empresas\\_apicolas\\_en\\_tamaulipas\\_Mexico/links/6048de0d45851543166b5d12/situacion-actual-de-las-empresas-apicolas-en-Tamaulipas-Mexico.pdf#page=117](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Reyna-Fuentes/publication/349949728_situacion_actual_de_las_empresas_apicolas_en_tamaulipas_Mexico/links/6048de0d45851543166b5d12/situacion-actual-de-las-empresas-apicolas-en-Tamaulipas-Mexico.pdf#page=117)
- Inofuentes, W. R. (2020). *Influencia de las letrinas en la calidad microbiologica del agua subterranea en la urbanizacion San Isidro Ccaccachi Juliaca-2019* [Universidad Nacional de Juliaca]. [http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/130/informe\\_de\\_tesis\\_-Inofuente\\_Ccarita\\_Wilmer\\_Ramiro\\_-\\_pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/130/informe_de_tesis_-Inofuente_Ccarita_Wilmer_Ramiro_-_pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Johnson, V. E., Liao, Q., Jallowide, B. W., Anaman, R., Amanze, C., Huang, P., Cao, W., Ding, C., & Shi, Y. (2023). Simultaneous removal of As(V) and Pb(II) using highly-efficient modified dehydrated biochar made from banana peel via hydrothermal synthesis. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 663(February). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131115>
- Johnson, W. E., Wisdom, L., Anaman, R., & Chunlian, W. C. (2023). Simultaneous removal of As(V) and Pb(II) using highly-efficient modified dehydrated biochar made from banana peel via hydrothermal synthesis. *Sciencedirect*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131115>
- Koksharov, S. A., Aleeva, S. V., & Lepilova, O. V. (2019). Description of adsorption interactions of lead ions with functional groups of pectin-containing substances. *Journal of Molecular Liquids*, 283, 606–616. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.03.109>
- Loarte, A. D., & Sanabria, V. R. (2015). *Efecto del pH y tipo de adsorbente en la remocion de manganeso de aguas superficiales contaminadas por relaves mineros* (Vol. 151) [Universidad Nacional del Centro del Peru]. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1013/Loarte\\_vargas\\_Arnold\\_David\\_+.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1013/Loarte_vargas_Arnold_David_+.pdf?sequence=1)
- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)

- López, F., & Gil, M. I. (2020). The importance of water in the fresh produce industry. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 196(795), 1–9. <https://doi.org/10.3989/arbor.2020.795n1011>
- Mansilla, G. (2013). Potencial de hidrogeniones- pH. *Revista de Actualización Clínica*, 40, 2076–2082. [http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/raci/v40/v40\\_a01.pdf](http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/raci/v40/v40_a01.pdf)
- Menezes, J. M. C., da Silva Bento, A. M., da Silva, J. H., de Paula Filho, F. J., da Costa, J. G. M., Coutinho, H. D. M., & Pereira Teixeira, R. N. (2020). Equilibrium, kinetics and thermodynamics of lead (II) adsorption in bioadsorbent composed by *Caryocar coriaceum* Wittm barks. *Chemosphere*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128144>
- Mercado, M., Garcia M, E., & Quintanilla, J. (2009). Evaluación de los Niveles de Contaminación por Plomo y Arsénico en muestras de Suelos y productos Agrícolas Procedentes de la región cercana al Complejo metalúrgico Vinto. *Revista Boliviana de Química*, 26, 26. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602009000200009](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602009000200009)
- MINAM. (2013). Línea base ambiental de la cuenca del lago Titicaca. *Ministerio Del Ambiente*, 85. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>
- MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental ( ECA ) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. 10–19. <file:///C:/Users/PAVILION/Downloads/ds-004-2017-minam.pdf>
- Minga, J. C., Elorza, F. J., Rodriguez, R., Iglesias, A., & Esenarro, D. (2023). Assessment of Water Resources Pollution Associated with Mining Activities in the Parac Subbasin of the Rimac River. *MDPI*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w15050965>
- Ministerio de salud. (2007). Río Ramis y tributarios - 2007. *Ministerio de Salud*, 23. <http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/rios/2007/Rio Ramis 2007.pdf>
- Miranda, L. M. (2012). “Biosorción de Plomo (II), presente en soluciones acuosas, con cascara de tuna (*Opuntia ficus - indica*)” [Universidad Nacional de San Agustín]. In *Universidad Nacional de San Agustín* (Issue II). <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4426/QUDvalime.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mohamed, R., Hashim, N., Abdullah, S., Abdullah, N., Asshaary, M., & Aidil, K. (2020). Adsorption of Heavy Metals on Banana Peel Bioadsorbent. *International Conference on Engineering Technology*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1532/1/012014>
- Montañez, T. C. (2021). *Adsorción de Plomo (II) usando cáscara de plátano (Musa Paradisiaca) en aguas contaminadas* [Universidad Nacional del Centro del Peru]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7622>
- Ocola, J. J. O., & Laqui, W. F. (2013). Fuentes Contaminantes En La Cuenca Del Lago Titicaca. In *Lexus* (Vol. 4, Issue None). [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe)
- Ordoño, J. A. (2020). *Remoción de Cobre Cu (II) y Arsénico As (V) de aguas residuales de mina, por adsorción con Zeolita natural en proceso batch* (Issue Ii) [Universidad Nacional del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/14311/Ordoño\\_Jose\\_Mendoza\\_Adelaida.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/14311/Ordoño_Jose_Mendoza_Adelaida.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Osorio, R., Vacca, V. A., & Gomez, L. (2017). Studio Comparativo De La Biosorción De Azul De Metileno Con Cáscara De Yuca Y Banano. *Memorias III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe, 1*, 81–83. [http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2017\\_20.pdf](http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2017_20.pdf)
- Pinto, M., & Liber, M. (2016). La cuenca hidrográfica como base para la gestión ambiental y de recursos hídricos . Precisiones , alcance y límites en torno al concepto geográfico , jurídico y político. *ResearchGate, April 2013*. [https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Pinto-2/publication/291352886\\_La\\_cuenca\\_hidrografica\\_como\\_base\\_para\\_la\\_gestion\\_ambiental\\_y\\_de\\_recursos\\_hidricos\\_Precisiones\\_alcance\\_y\\_limites\\_en\\_torno\\_al\\_concepto\\_geografico\\_juridico\\_y\\_politico/links/56a22d0c0](https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Pinto-2/publication/291352886_La_cuenca_hidrografica_como_base_para_la_gestion_ambiental_y_de_recursos_hidricos_Precisiones_alcance_y_limites_en_torno_al_concepto_geografico_juridico_y_politico/links/56a22d0c0)
- Porras, G., & Martinez, C. F. (2019). *Adsorción del plomo mediante carbón activo de coronta de maíz de aguas contaminadas con relaves mineros* [Universidad Peruana Union]. [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2715/Franco\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2019.pdf?sequence=1](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2715/Franco_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1)
- Primo, E. (2007). *Química Orgánica Básica y Aplicada* (Editorial). [https://books.google.com.ec/books?id=aU\\_aBXvAB3MC&printsec=frontcover&source=gbs\\_vpt\\_read#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=aU_aBXvAB3MC&printsec=frontcover&source=gbs_vpt_read#v=onepage&q&f=false)

- Ramirez, J. H., & Enriquez, M. K. (2015). Remoción de plomo ( II ) usando lignina obtenida a partir del procesamiento del seudotallo de plátano. *Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá*, 64, 209–213. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n3.43488>
- Rivera, I. G. (2021). Evaluación de la Concentración de los Metales Pesados (Arsénico, Plomo Y Zinc) En Las Aguas Superficiales de la Laguna Patón, (OYÓN, Perú) [Universidad Científica del Sur]. In *Universidad Científica del Sur*. [https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2072/TL-Rivera I-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2072/TL-Rivera-I-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Riveros, R., & Huaman, J. Y. (2022). *Concentracion de metales pesados (Hg, As, Cd, Pb, Cu, Zn) en aguas del rio escalera en el distrito de huachocolpa, Huancavelica, 2021* [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/120da727-4574-4da3-b25c-0d5e972e2eab/content>
- Rodriguez, D. (2017). Occupational poisoning due to heavy metals. *Medisan*, 21(12), 3372–3385. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1029-30192017001200012&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1029-30192017001200012&script=sci_arttext)
- Rodriguez, K. J. (2017). Eficiencia de tres variedades de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) para la remoción de cromo hexavalente de aguas contaminadas a nivel laboratorio, Sjl – 2017. In *Universidad Cesar Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22666>
- Rojas, L. F. (2018). *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua de consumo humano del centro poblado de San Marcos, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa – 2018* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/412/1/T026\\_47762610\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/412/1/T026_47762610_T.pdf)
- Roselló, R. L., Pérez, I. P., & Recarey, C. A. (2017). Caracterización y evaluación sistémica de empaquetamientos de partículas como conjuntos iniciales para simulaciones con elementos discretos. *Revista Cubana de Ingenieria*, 8(2), 35–46. [https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/download/637/pdf#:~:text=El diámetro de Feret%2C al,partícula \(figura 2 b](https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/download/637/pdf#:~:text=El diámetro de Feret%2C al,partícula (figura 2 b)
- Tejada, C., Herrera, A., & Nuñez, J. (2015). Adsorción competitiva de Ni (II) y Pb (II) sobre materiales residuales lignocelulósicos. *Investigaciones Andina*, 17(31), 1355–1367. <https://doi.org/10.33132/01248146.547>

- Tejeda, L., Tejada, C., Marimón, W., & Villabona, Á. (2014). Study of physical and chemical modification of biomass (*Citrus sinensis* AND *Musa paradisiaca*) for the adsorption of heavy metals in solution. *Luna Azul*, 39, 124–142. <https://doi.org/10.17151/luaz.2014.39.8>
- Tejeda, L., Tejada, C., Marimón, W., & Villabona, A. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* Y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Revista Luna Azul*. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742014000200008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742014000200008&script=sci_arttext)
- Trelles, J. A. (2013). *Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes* [Universidad Nacional de Ingenierías]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3496455>
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Díaz, J., Vásquez, C., Castro, A., Tapia, M., & Alcántara, J. (2016). Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 39. <http://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/CUENCAS-HIDROGRAFICAS.pdf>
- Vasquez, P. (2021). Efecto de metales traza de los rios afluentes (Ramis, Coata e Ilave) sobre la calidad de agua y sedimento del Lago Titicaca. In *Universidad Ricardo Palma*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4291>
- Vásquez, S. O. (2017). Caracterización Físicoquímica De La Calidad Del Agua Del Manantial La Shita Destinada Al Consumo Humano, Cajamarca-2017. In *Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo*. [http://65.111.187.205/bitstream/handle/UPAGU/362/TESIS\\_SAÚL\\_VASQUEZ\\_CABALLERO\\_08-11-17-.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://65.111.187.205/bitstream/handle/UPAGU/362/TESIS_SAÚL_VASQUEZ_CABALLERO_08-11-17-.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vejarano, R., Gurreonero, J., & Castillo, A. (2018). Adsorption of lead (Pb) from contaminated aqueous mediums using banana (*Musa paradisiaca*) peel. *LACCEI International Multi-Conference, July*, 19–21. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.67>
- Velásquez, M. A. (2018). *Contaminación por Plomo y Cobre en el Río Huaycoloro y su influencia en la Calidad del Agua en el Río Rímac, 2018 TESIS* [Universidad Cesar Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20580/Velásquez\\_BMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20580/Velásquez_BMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Velóz, N. C. (2018). *Estudio de los factores condicionantes de contaminación que afectan la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga – Chimborazo* [Universidad Naacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/8792>
- Vera, B. M., & Brito, M. C. (2018). Uso de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) modificada con quitosano, como agente biosorbente de plomo en aguas residuales sintéticas. *Universidad de Guayaquil*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38374>
- Vilela, W., Espinosa, M., & Bravo, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración*, 8(8), 215–233. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>
- Wan, Y., Huang, Q., Wang, Q., Yu, Y., Su, D., Qiao, Y., & Li, H. (2020). Accumulation and bioavailability of heavy metals in an acid soil and their uptake by paddy rice under continuous application of chicken and swine manure. *Journal of Hazardous Materials*, 384(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121293>
- Zhang, W., Du, W., Wang, F., Xu, H., Zhao, T., Zhang, H., Ding, Y., & Zhu, W. (2020). Comparative study on Pb<sup>2+</sup> removal from aqueous solutions using biochars derived from cow manure and its vermicompost. *Science of the Total Environment*, 716, 137108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137108>

## ANEXOS

### Anexo 1. Identificación de lignina de la biomasa de *Musa paradisiaca*.



**Figura 23.** Recolección y clasificación de la muestra de *Musa paradisiaca*



**Figura 24.** Lavado y trozado de la cascara de la *Musa paradisiaca*



**Figura 25.** Secado de la *Musa paradisiaca*



**Figura 26.** Molido de la *Musa paradisiaca*



**Figura 27.** Tamizado de la *Musa paradisiaca*



**Figura 28.** Almacenado de la *Musa paradisiaca*

**Anexo 2.** Resultados del análisis de identificación de la *Musa Paradisiaca* mediante la FTIR.



**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON  
EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN  
DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS  
(EC-0005-2017-UNSA)**

**INFORME DE ENSAYO  
ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR  
TRANSFORMADA DE FOURIER**

**Para:** Juan Ricardo Mamani Adco

**Aprobado por:** Dra. Adriana Edith Larrea Valdivia

**Analista:** Carlos Javier Valenzuela Huilca

Informe de ensayo No: 182-23			
VERSIÓN	RECEPCIÓN DE MUESTRA	EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS	EMISIÓN DE INFORME
1	20-Dic-2023	20-Dic-2023	22-Dic-2023
<b>Descargo de Responsabilidad:</b> Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización del LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CON EQUIPOS ESPECTROSCÓPICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ESTRUCTURAS QUÍMICAS (EC-0005-2017-UNSA). Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.			

## TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	3
2. Identificación del cliente.....	3
3. Método utilizado.....	3
4. Condiciones de análisis.....	3
5. Observaciones.....	4
6. Espectros.....	4

## 1. INTRODUCCIÓN

A solicitud del investigador Juan Ricardo Mamani Adco, se ha realizado el análisis por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier, rango medio (MIR), de la siguiente muestra:

Musa paradisiaca

Se recibió en polvo, y en cantidad apropiada para el análisis a realizar.

La lectura de la muestra fue directamente analizada sobre el accesorio de reflectancia total atenuada UATR.

## 2. IDENTIFICACIÓN DEL INVESTIGADOR

<b>Nombre</b>	Juan Ricardo Mamani Adco
<b>Contacto</b>	Teléfono
	Correo electrónico

## 3. MÉTODO UTILIZADO

Para la realización del análisis se siguió los lineamientos de la norma ASTM E1252-98 (2021) "Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis", con un rango de número de onda desde  $650\text{ cm}^{-1}$  hasta  $4000\text{ cm}^{-1}$  y accesorio de reflectancia total atenuada universal.

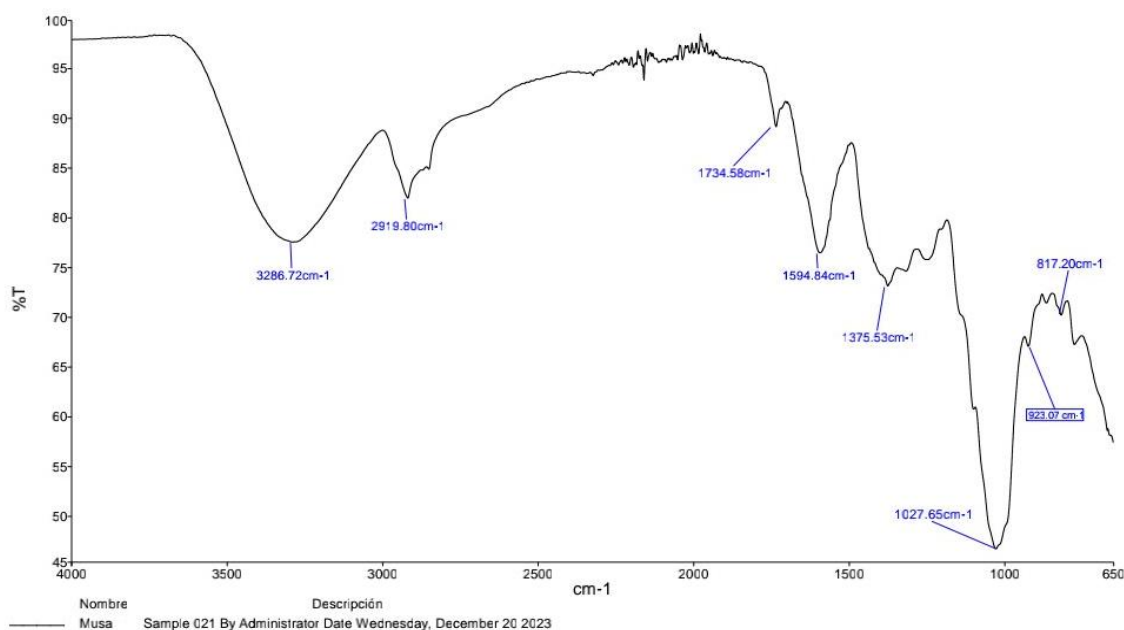
## 4. CONDICIONES DEL ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER FT-IR

Equipo	Marca Perkin Elmer, modelo Frontier FT-IR/NIR
Rango de barrido	$4000\text{ cm}^{-1}$ - $650\text{ cm}^{-1}$
Fuerza aplicada	80
Tipo de accesorio	Universal ATR
Cristal UATR	Diamante/ZnSe
Saltos UATR	3

## 5. OBSERVACIONES

- ✓ Los resultados corresponden a la muestra proporcionada por el investigador, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del laboratorio.
- ✓ La zona del espectro desde 1900  $\text{cm}^{-1}$  hasta 2250  $\text{cm}^{-1}$  corresponde al ruido generado por el accesorio, por lo que no debe ser tomada en cuenta para la identificación de grupos funcionales.
- ✓ Este documento va acompañado con la data del equipo, que consta del archivo .SP y archivo .CSV, que pueden ser manejados en Origin o Microsoft Excel, respectivamente.

## 6. ESPECTRO



**Anexo 3.** Determinación de la interacción óptima de los factores pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula.



**Figura 29.** Pesado de la *Musa paradisiaca* de 10 y 20 gramos en la balanza analítica



**Figura 30.** Se hidrato a 0.01 N de Nitrato de Sodio  $\text{NaNO}_3$  *Musa paradisiaca*



**Figura 31.** Variación del pH a 4 y 6 con hidróxido de sodio NaOH y ácido clorhídrico HCl a 0.1N



**Figura 32.** Mezcla del adsorbente *Musa paradisiaca* con la muestra de agua contaminada



**Figura 33.** Primera y segunda agitación de la *Musa paradisiaca* y agua contaminada a 150 RPM durante 60 minutos a una temperatura de  $16 \pm 2$  °C



**Figura 34.** Filtrado de las soluciones con papel Whatman N° 40

**Anexo 4.** Recolección de muestras de agua de la cuenca del río Ramis – Azángaro



**Figura 35.** Puntos de muestreo en la cabecera del río Azángaro de la cuenca del Ramis



**Figura 36.** Puntos de muestreo en la parte baja del río Azángaro de la cuenca del Ramis



**Figura 37.** Método aplicado para el análisis de agua acreditado por Bhios Laboratorios

**Anexo 5.** Determinación de la turbiedad inicial y final del agua





# REGISTRO DE ENVIO DE MUESTRAS DEL CLIENTE

Estimado cliente: Agradecemos complete los datos solicitados.

Cliente / Razón Social	Juan Ricardo MAYANI ADO	RUC:	10716930462
Dirección	Dt. Nuevo No 108 - Samaan - Azangaco - Puno		
Nombre del muestreador	Juan Ricardo MAYANI ADO		
Cotización de referencia	A-4366-2023		

Numeración	NOMBRE DE LA MUESTRA (Identifique la muestra de acuerdo a como desea que aparezca en el Informe de Ensayos)	CODIFICACIÓN (opcional)	MATRIZ (Identifique la Matriz según el cuadro **) Nota: Solo para agua	PROCEDENCIA (Coordenadas, Departamento, Provincia, Distrito, etc) (Opcional)	FECHA DEL MUESTREO	HORA DEL MUESTREO	Determinaciones solicitadas					Total de envases por muestra (Und)	Cantidad Total (ml ó g por Muestra)
							Colección N°						
01	Aguas superficiales de Rio de la uenca del Rio Ramis-Azangaco	001	ASR	Punto 1. -14.775365, -70.2825402 Punto 2. -14.898162, -70.280516 Punto 3. -14.919353, -70.284946 PUNO - AZANGACO - AZANGACO	23-11-2023	P1. 10:20 am P2. 10:42 am P3. 11:09 am						7	100ml
02													
03													
04													
05													



**NOTAS IMPORTANTES:**

- En cada fila ingresar una muestra (frasco y conjunto de frascos tomados en un mismo punto)
- Condiciones de envío (Para Aguas): En contenedor isotérmico con isopacks o gelpacks que proporcione una temperatura de 4±2°C durante todo el transporte

**Matrices de agua (Indique las correspondientes en el cuadro de detalle de muestras)	Natural	Para Uso y Consumo Humano	Residual	De Proceso	Salina
	ASM: Subterránea de Manantial AST: Subterránea Termal ASR: Superficial de Rio ASL: Superficial Lago/Laguna ASD: Deposition Atmosférica	ACB: Bebida - Potable ACB: Bebida - Mesa ACB: Bebida - Envasada ACP: Piscina ACL: Laguna Artificial	ARD: Doméstica ARI: Industrial ARM: Municipal	APIR: Inyección y reinyección APC: Circulación o enfriamiento APA: Alimentación pl calderas APCL: Calderas	APL: Lixiviación APP: Purificada - destilada APP: Purificada - osmotizada
Observaciones:					
Firma del Muestreador					
Fecha y Hora de Envío de Muestras: 23-11-2023, 02:33 PM					
Via Utilizada: Viaje presencial de Juliaca - Arequipa					
Posibles Sustancias Interferentes:					

RECIBIDO POR:	Fecha:	Hora:	Temperatura Recepción (°C)
OBSERVACIONES:			

## Anexo 7. Informe de ensayos del análisis inicial de concentración del plomo (Pb)

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-055</b>	 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° LE-055
<b>INFORME DE ENSAYOS N° 7380- 2023</b> <b>PÁGINA 1 DE 2</b>		
<b>SOLICITANTE</b>	: JUAN RICARDO MAMANI ADCO	
<b>DIRECCIÓN</b>	: JR. SUCRE 1225 - JULIACA	
<b>PRODUCTO DECLARADO</b>	: AGUA SUPERFICIAL	
<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	: Líquido transparente.	
<b>CODIFICACIÓN / MARCA</b>	: Aguas superficiales de Río de la cuenca del río Ramis-Azángaro. (001)	
<b>DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE</b>	: 23/11/2023 10:20 Procedencia: Punto 1: -14.775365, -70.285402. Punto 2: -14.898462, -70.190516. Punto 3: -14.919353, -70.189496. Puno-Azángaro-Azángaro.	
<b>TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA</b>	: 01 muestra de 100 mL aprox. para análisis FQ.	
<b>PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN</b>	: En envase PET cerrado y etiquetado. En contenedor isotérmico a una temperatura de 4.1 °C	
<b>CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b>	: Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)	
<b>CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA</b>	: Ninguna (por ser muestra única)	
<b>FECHA PRODUCCIÓN</b>	: No especificada	
<b>FECHA DE VENCIMIENTO</b>	: No especificada	
<b>CONTRATO N°</b>	: 2228-2023	
<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	: 24/11/2023	
<b>CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.</li><li>· No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.</li><li>· En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.</li><li>· En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.</li><li>· Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.</li><li>· El Período de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.</li><li>· BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.</li><li>· El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor.</li><li>· Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.</li><li>· Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.</li></ul>	
PRP-08-F-05-IE Versión: 02 Fecha de Emisión: 01/03/22 Elaborado por: GT / Revisado por: CAC / Aprobado por : GG <span style="float: right;">Página 1 de 2</span>		
<b>Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú</b> <b>Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110</b> <b>e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com</b>		

BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

INFORME DE ENSAYOS N° 7380- 2023  
PÁGINA 2 DE 2

Metales Totales por ICP-MS

LAB	DETERMINACIÓN	LD	LC	AGUA SUPERFICIAL	UNIDADES
				Aguas superficiales de Río de la cuenca del río Ramis-Azángaro. (001)	
FQ	Ag (Plata)	0,00001	0,00005	<0.00005	mg/L
FQ	Al (Aluminio)	0,004	0,020	0.06	mg/L
FQ	As (Arsénico)	0,000004	0,00002	0.01442	mg/L
FQ	B (Boro)	0,001	0,005	1.018	mg/L
FQ	Ba (Bario)	0,0001	0,0004	0.0409	mg/L
FQ	Be (Berilio)	0,000003	0,00002	0.00003	mg/L
FQ	Bi (Bismuto)	0,00002	0,00010	<0.0001	mg/L
FQ	Ca (Calcio)	0,010	0,050	82.60	mg/L
FQ	Cd (Cadmio)	0,000001	0,00001	<0.00001	mg/L
FQ	Ce (Cerio)	0,000003	0,00002	0.00006	mg/L
FQ	Co (Cobalto)	0,000001	0,00001	0.00005	mg/L
FQ	Cr (Cromo)	0,00001	0,00005	0.00096	mg/L
FQ	Cs (Cesio)	0,000002	0,00001	0.01533	mg/L
FQ	Cu (Cobre)	0,0002	0,001	<0.001	mg/L
FQ	Fe (Hierro)	0,002	0,010	0.045	mg/L
FQ	Hg (Mercurio)	0,0001	0,0005	<0.0005	mg/L
FQ	K (Potasio)	0,004	0,020	6.30	mg/L
FQ	Li (Litio)	0,00002	0,00008	0.23624	mg/L
FQ	Mg (Magnesio)	0,004	0,020	15.48	mg/L
FQ	Mn (Manganeso)	0,00003	0,0002	0.0397	mg/L
FQ	Mo (Molibdeno)	0,00002	0,0001	0.0008	mg/L
FQ	Na (Sodio)	0,010	0,050	86.21	mg/L
FQ	Ni (Niquel)	0,00001	0,00006	0.0002	mg/L
FQ	P (Fosforo)	0,004	0,020	<0.02	mg/L
FQ	Pb (Plomo)	0,00004	0,0002	1.2425	mg/L
FQ	Sb (Antimonio)	0,00002	0,00010	0.0006	mg/L
FQ	Se (Selenio)	0,00002	0,0001	<0.0001	mg/L
FQ	Si (Silicio)	0,020	0,100	5.55	mg/L
FQ	Sn (Estaño)	0,00002	0,00010	<0.0001	mg/L
FQ	Sr (Estroncio)	0,0001	0,0004	0.9059	mg/L
FQ	Ti (Titanio)	0,00004	0,0002	0.0003	mg/L
FQ	Tl (Talio)	0,000004	0,00002	0.00003	mg/L
FQ	U (Uranio)	0,000003	0,00002	0.00091	mg/L
FQ	V (Vanadio)	0,0001	0,0004	<0.0004	mg/L
FQ	Zn (Zinc)	0,001	0,003	0.028	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro

MÉTODOS UTILIZADOS :

Metales Totales por ICP-MS : EPAMETHOD 6020 B, Rev. 2, July 2014 (VALIDADO - Modificado) (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2020 Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry

OBSERVACIONES :

Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método

LC: Límite de cuantificación del método.

LD: Límite de detección del método.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 24/11/2023 al 30/11/2023

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 04/12/2023



Bigo. Miguel Valdivia Martínez  
Gerente Técnico

Fin del Informe

**Anexo 8. Determinación de la concentración final del plomo (Pb)**



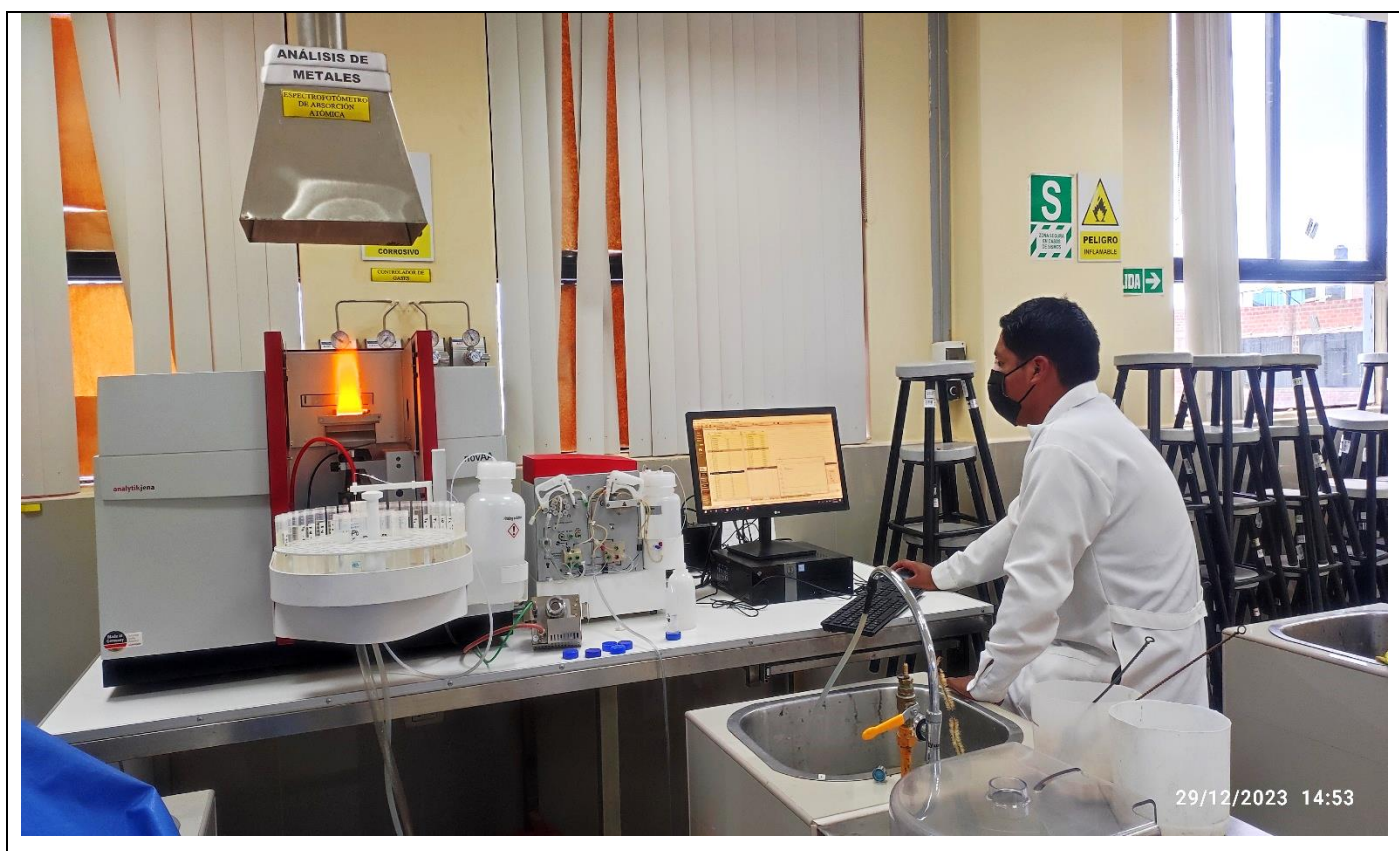
**Figura 38.** *Proceso de medición de la turbiedad final para los 24 tratamientos*



**Figura 39.** *Proceso de colocación de las muestras en el Espectrofotómetro*



**Figura 40.** *Proceso de lectura de la concentración final del plomo*



**Figura 41.** *Proceso de análisis en el Espectrofotometría de Absorción Atómica*

**Anexo 9.** Resultados finales de la concentración del plomo (Pb)

**Tabla 17.**

*Resultados finales de la concentración del plomo (Pb)*

Concentración	Replica	N° Tratamientos	Concentración del plomo (Pb)
<b>C<sub>f</sub> FINAL</b>	I	T <sub>1</sub>	<b>0.1796</b>
	I	T <sub>2</sub>	<b>0.1286</b>
	I	T <sub>3</sub>	<b>0.1375</b>
	I	T <sub>4</sub>	<b>0.1028</b>
	I	T <sub>5</sub>	<b>0.1223</b>
	I	T <sub>6</sub>	<b>0.0764</b>
	I	T <sub>7</sub>	<b>0.1398</b>
	I	T <sub>8</sub>	<b>0.0676</b>
	II	T <sub>1</sub>	<b>0.0423</b>
	II	T <sub>2</sub>	<b>0.0480</b>
	II	T <sub>3</sub>	<b>0.0132</b>
	II	T <sub>4</sub>	<b>0.0507</b>
	II	T <sub>5</sub>	<b>0.0316</b>
	II	T <sub>6</sub>	<b>0.0686</b>
	II	T <sub>7</sub>	<b>0.0674</b>
	II	T <sub>8</sub>	<b>0.0009</b>
	III	T <sub>1</sub>	<b>0.0348</b>
	III	T <sub>2</sub>	<b>0.0319</b>
	III	T <sub>3</sub>	<b>0.0427</b>
	III	T <sub>4</sub>	<b>0.0166</b>
	III	T <sub>5</sub>	<b>0.0211</b>
	III	T <sub>6</sub>	<b>0.0096</b>
	III	T <sub>7</sub>	<b>0.0585</b>
	III	T <sub>8</sub>	<b>0.0290</b>

**Fuente:** Laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca – Sede Capilla

**Anexo 10.** Solicitud del uso de equipos y materiales del laboratorio de la Universidad Nacional de Juliaca – UNAJ

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
CREADA POR LA LEY N° 29074  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
TRÁMITE DOCUMENTARIO  
21 NOV 2023  
Exp. N° ..... Folio: -03-  
Hora: 12:27

SOLICITO : Uso del laboratorio para la ejecución de mi PROYECTO DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE ASUNTOS ACADÉMICOS  
Ejecución de mi  
RECIBIDO  
23 NOV 2023  
EXP. N° ..... FOLIOS: -03-  
HORA: 3:59 FIRMA: *[Firma]*

DR. ARRUEO ALCÁNTARA HERNÁNDEZ  
VICEPRESIDENTE ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
VICE-PRESIDENCIA ACADÉMICA  
22 NOV 2023  
Exp. N° ..... Folio: -03-  
Hora: 09:04 Firma: *[Firma]*

Yo, MAMANI ADCO, Juan Ricardo identificado con DNI: 71693046 con código de matrícula N° 8271693046, estudiante egresado del 2023-I de la Escuela Profesional Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, domiciliado en el Jr. Nuevo 108, hago llegar mi cordial saludo y al mismo tiempo expresarle lo siguiente:

Que, habiendo aprobado satisfactoriamente mi PROYECTO DE TESIS titulado "ADSORCIÓN DEL PLOMO (Pb) EMPLEANDO BIOMASA DE *Musa paradisiaca*, EN AGUAS PROCEDENTES DE LA CUENCA DEL RÍO RAMIS – AZÁNGARO, 2023", bajo la asesoría del Dr. WILE MAMANI NAVARRO, con el deseo de OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL solicito a usted designación del Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Forestal Nivel 2 Pabellón B - SEDE CAPILLA para la ejecución y realizar la parte experimental de mi PROYECTO DE TESIS, ya que según el Art. 20. De la RESOLUCIÓN DE CONCEJO DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 481-2021-CCO-UNAJ, indica que el plazo para desarrollar el Proyecto de Tesis declarado apto, y presentar el Borrador de Tesis es de tres (03) meses como mínimo y un (01) año y 6 meses como máximo, sin dudar de la aceptación de la solicitud agradezco de antemano su predisposición.

**Por lo expuesto adjunto:**

- Copia de DNI.
- Copia de ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS.

Ruego a usted acceder a mi petición por ser justa, legal y necesaria.

UNAJ - COMISIÓN ORGANIZADORA  
"VICE - PRESIDENCIA ACADÉMICA"  
Para: *DISEÑA*  
Por: *su comisión para*  
*complemento de narrativa*  
*[Firma]*  
23 NOV 2023

Juliaca, 21 de noviembre del 2023.

Atentamente;

*[Firma]*

Bach. Juan Ricardo MAMANI ADCO  
DNI N° 71693046  
CEL: 922696710  
CORREO: jr.mamani@unaj.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
Sistema de Trámite Documentario  
Expediente N°  
E- 23-003545

**Anexo 11.** Operacionalización de variables

**Tabla 18.**

*Operacionalización de variables*

<b>Tipos de variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Independiente</b>	pH	4 - 6	**	0 - 14
	Concentración del adsorbente	0.2 - 0.4	g/mL	**
	Tamaño de partícula	212 - 150	µm	**
<b>Dependientes</b>	Adsorción de Pb	Porcentaje de adsorción	g/mL	**
	Turbiedad		UNT	**

**Anexo 12.** Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

**Tabla 19.**

*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>
		<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</b>	<b>Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</b>
<b>Físico - Químicos</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0.5	1.7	1.7
Cianuro Total	mg/L	0.07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0.2	0.2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero	15	100 (a)	**
	Escala Pt/Co			
Conductividad	(µS/cm)	1500	1600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0.003	**	**

**Tabla 20. Continuación**

Fluoruros	mg/L	1.5	**	**
Fosforo Total	mg/L	0.1	0.15	0.15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénicos		Ausencia de materiales flotantes de origen antrópico	Ausencia de materiales flotantes de origen antrópico	Ausencia de materiales flotantes de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> )(c)	mg/L	50	50	50
Nitratos (NO <sub>2</sub> )(d)	mg/L	3	3	**
Amoniacio-N	mg/L	1.5	1.5	**
Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥6	≥5	≥4
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unida de pH	6.5-8.5	5.5-9.0	5.5-9.0
Solidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1000
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>Inorgánicos</b>				
Aluminio	mg/L	0.9	5	5
Antimonio	mg/L	0.02	0.02	**
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.15
Bario	mg/L	0.7	1	**
Berilio	mg/L	0.012	0.04	0.1
Boro	mg/L	2.4	2.4	2.4
Cadmio	mg/L	0.003	0.005	0.01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0.05	0.05	0.05
Hierro	mg/L	0.3	1	5
Manganeso	mg/L	0.4	0.4	0.5
Mercurio	mg/L	0.001	0.002	0.002
Molibdeno	mg/L	0.07	**	**
Níquel	mg/L	0.07	**	**
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.04	0.04	0.05
Uranio	mg/L	0.02	0.02	0.02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>Orgánicos</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>8</sub> - C <sub>40</sub> )	mg/L	0.01	0.2	1.0
Trihalometanos	(e)	1.0	1.0	1.0
Bromoforno	mg/L	0.1	**	**
Cloroforno	mg/L	0.3	**	**

**Tabla 21. Continuación**

Dibromoclorometo	mg/L	0.1	**	**
Bromodiclorometao	mg/L	0.06	**	**
<b>I. Compuesto orgánico volátiles</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0.2	0.2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0.03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0.03	0.03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
hexaclorobutadieno	mg/L	0.0006	0.0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0.04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0.004	0.004	**
Tricloroetano	mg/L	0.07	0.07	**
<b>Btex</b>				
Benceno	mg/L	0.01	0.01	**
Etilbenceno	mg/L	0.3	0.3	**
Tolueno	mg/L	0.7	0.7	**
Xileno	mg/L	0.5	0.5	**
<b>Hidrocarburos aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0.0007	0.0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0.009	0.009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malatión	mg/L	0.19	0.0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0.00003	0.00003	**
Clordano	mg/L	0.0002	0.0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0.001	0.001	**
Endrin	mg/L	0.0006	0.0006	**
Heptacloro+Heptacloro Epóxido	mg/L	0.00003	0.00003	**
Lindano	mg/L	0.002	0.002	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0.01	0.01	**
<b>II. Cianotoxinas</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0.001	0.001	**
<b>III. Bifenilos policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)				
<b>Microbiológicos y parasitológicos</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 mL	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	20	2000	20000

**Tabla 22. Continuación**

Formas Parasitarias	N° Organism o/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/ 100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organism o/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

**Fuente:** MINAM, (2017)

El símbolo \*\* dentro de la tabla 5 significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Anexo 13. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<b>Problema general</b> ¿Tendrá la biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> alto porcentaje de adsorción de plomo (Pb) variando el pH, concentración de adsorbente y tamaño de partícula en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis?	<b>Objetivo general</b> Determinar la adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> con variación del pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis.	<b>Hipótesis general</b> La cascara de plátano de <i>Musa paradisiaca</i> posee alto porcentaje de adsorción variando el pH, concentración de adsorbente y tamaño de partícula en aguas contaminadas con plomo (Pb), con una eficiencia de adsorción mayor al 70%.		pH Concentración del adsorbente Tamaño de partícula	4-6 0.2 g/mL – 0.4 g/mL 212 µm – 150 µm	Cuantitativo Nivel: Explicativo correlacional Tipo: Experimental Diseño factorial n <sup>k</sup> Superficie respuesta Análisis de varianza (ANOVA)
<b>Problema específico</b> ¿Actuara la lignina de <i>Musa paradisiaca</i> en la adsorción del plomo (Pb) en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis? ¿Cuáles serán los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula que influyen en el porcentaje de adsorción del plomo (Pb) con <i>Musa paradisiaca</i> en aguas del río Azángaro de la cuenca Ramis? ¿Cuál será el porcentaje de adsorción del plomo (Pb) de aguas procedentes del tramo río Azángaro de la cuenca Ramis?	<b>Objetivo específico</b> Identificar la lignina de la cascara de plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ) que actúa como adsorbente del plomo (Pb) en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca Ramis. Determinar la interacción óptima de los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de partícula de la <i>Musa paradisiaca</i> que influyen en la remoción del plomo (Pb) en aguas procedentes de la cuenca del río Ramis. Determinar el porcentaje de adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> en aguas procedentes del río Azángaro de la cuenca del río Ramis.	<b>Hipótesis específico</b> La identificación de lignina de la biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> que actúan en la adsorción del plomo (Pb) son los radicales hidroxilos el cual podrá ser determinado por FTIR. Los factores como pH, concentración del adsorbente y tamaño de la partícula son los que influyen significativamente en la adsorción del metal Plomo (Pb). La adsorción del plomo (Pb) empleando biomasa de <i>Musa paradisiaca</i> presenta un 65% de eficiencia de remoción.	<b>Dependiente</b>	Adsorción del Plomo (Pb)  Turbiedad	Porcentaje de adsorción	Método EPA Method 6020, Rev. 2 (Espectrofotometría de Absorción Atómica). para la identificación de la <i>Musa paradisiaca</i> , se empleó el método de la norma ASTM E1252-98 (2021) “Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis” mediante la FTIR.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
"Universidad Pública de Calidad"