



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFICIENCIA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO COMO BIOADSORBENTE DE
PLOMO EN LA LAGUNA QUIULACocha - PASCO, 2024

Línea de investigación:
Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autora

Huayta Mucha, Mabel Zulema

Asesor

Martínez Cabrera Rubén

ORCID: 0000-0002-4561-8627

Jurado

Aylas Humareda, María Del Carmen

Alvarado Pérez, Karina Milagros

Legua Terry, Alberto Israel

Lima - Perú

2026



"EFICIENCIA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO COMO BIOADSORBENTE DE PLOMO EN LA LAGUNA QUIULACOCHA - PASCO, 2024"

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unfv.edu.pe:8080 Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	Marín Paucara, Esteban. "Tecnología del vermicompost en la reducción de plomo y cobre de suelos con pasivos mineros en Silluta Cabanillas – Puno, Perú", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1%
7	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	patents.google.com Fuente de Internet	<1%
9	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFICIENCIA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO COMO BIOADSORBENTE DE

PLOMO EN LA LAGUNA QUIULACOCHA - PASCO, 2024

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Huayta Mucha, Mabel Zulema

Asesor:

Martínez Cabrera Rubén

ORCID: 0000-0002-4561-8627

Jurado

Aylas Humareda, María Del Carmen

Alvarado Pérez, Karina Milagros

Legua Terry, Alberto Israel

Lima - Perú

2026

Dedicatoria

A mis padres, Angélica Mucha y Luis Huayta, por su amor incondicional, su ejemplo y su apoyo inquebrantable a lo largo de esta etapa.

A mis abuelitos Pedro, Valentina y Thomas, y a mi hermano mayor, quienes descansan en paz. Siempre los llevo en mi corazón y agradezco su guía desde lo alto.

Y a mí misma, por la fortaleza, el esfuerzo y la perseverancia que me permitieron alcanzar esta meta.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios, por otorgarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar este importante logro en mi vida.

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación, y de manera especial a los ingenieros Omar Vásquez y Rubén Martínez, por su valiosa orientación, apoyo constante y por ser un ejemplo de profesionalismo y compromiso.

Finalmente, extendo mi más sincero agradecimiento a mi familia y amigos, por su respaldo incondicional, su aliento permanente y por acompañarme con cariño en cada etapa de este camino académico y personal.

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Descripción y formulación de problema.....	13
1.1.1. Descripción del problema.....	13
1.1.2. Problema General.....	15
1.1.3. Problema Específico	15
1.2. Antecedentes	16
1.2.1. Antecedentes Nacionales	16
1.2.2. Antecedentes Internacionales	18
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. Objetivo general.....	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Justificación	22
1.4.1. Justificación teórica.....	22
1.4.2. Justificación Metodológica.....	23
1.4.3. Justificación Práctica	23
1.4.4. Justificación Social	24
1.5. Hipótesis	24

1.5.1.	<i>Hipótesis General</i>	24
1.5.2.	<i>Hipótesis Específica</i>	25
II.	MARCO TEÓRICO.....	26
2.1	Bases teóricas sobre el tema de investigación	26
2.1.1.	<i>Aguas ácidas de mina</i>	26
2.1.2.	<i>Metales Pesados</i>	28
2.1.3.	<i>Floculación</i>	29
2.1.4.	<i>Prueba de Jarras</i>	30
2.1.5.	<i>Plátanos (Musa paradisiaca)</i>	31
2.1.6.	<i>Cáscara de plátanos</i>	32
2.2.	Marco Legal Ambiental	33
III.	MÉTODO	36
3.1	Tipo de investigación	36
3.2.	Ámbito temporal y espacial	37
3.3.	Variable	38
3.3.1.	<i>Variable Independiente</i>	38
3.3.2.	<i>Variable Dependiente</i>	38
3.4.	Población y muestra.....	40
3.4.1.	<i>Población.</i>	40
3.4.2.	<i>Muestra.</i>	40

3.4.3.	<i>Muestreo</i>	40
3.5.	Instrumentos.....	40
3.5.1.	<i>Equipos</i>	41
3.5.2.	<i>Materiales</i>	41
3.5.3.	<i>Reactivo</i>	41
3.6.	Procedimiento	42
3.6.1.	<i>Determinación de los niveles de los parámetros fisicoquímicos del Drenaje Acido de Mina (DAM) y si estos cumplen con los LMP de la normativa del Perú.</i>	42
3.6.2.	<i>Determinación de la dosis optima del bioadsorbente natural para la remoción de plomo (Pb)</i>	43
3.6.3.	<i>Obtención del tiempo de agitación optimo del bioadsorbente para la remoción de iones de plomo (Pb)</i>	47
3.6.4.	<i>Búsqueda de estrategias innovadoras y sostenibles para la mejorar el tratamiento el agua acida (AA)</i>	48
3.7.	Análisis de datos	48
3.7.1.	<i>Análisis del porcentaje de remoción</i>	49
IV.	RESULTADOS	50
4.1.	Parámetros fisicoquímicos de las aguas de la Laguna Quiulacocha y si estos cumplen con los LMP.....	50
4.2.	Dosis optima de la cáscara de plátano como bioadsorbente en remoción de plomo (Pb) de la laguna Quiulacocha.	51

4.2.1. <i>Primer tratamiento</i>	51
4.2.2. <i>Segundo tratamiento</i>	52
4.2.3. <i>Tercer tratamiento</i>	54
4.3. Obtención del Tiempo optimo de agitación en la floculación para la remoción de plomo (Pb).....	56
4.4. Estrategias innovadoras y sostenibles para la mejorar el tratamiento el agua acida de la laguna Quiulacocha	58
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	60
VI. CONCLUSIONES	64
VII. RECOMENDACIONES.....	66
VIII. REFERENCIAS.....	67
IX. ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación taxonómica del plátano	31
Tabla 2	Límites máximos permisibles para descargas de efluentes de actividad minero metalúrgico.....	35
Tabla 3	Operacionalización de variables de Investigación	39
Tabla 4	Caracterización del DAM en su estado inicial.....	50
Tabla 5	Resultados del 1er tratamiento para la remoción de Pb	51
Tabla 6	Resultados del 2 do tratamiento para la remoción de Pb	53
Tabla 7	Resultados del 3er tratamiento para la remoción de plomo	54
Tabla 8	Resultados del tiempo de agitación optimo	56
Tabla 9	Estrategias sostenibles para mejorar el tratamiento de DAM	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Instrumento utilizado para la realización de la “Prueba de Jarras”	31
Figura 2 Cáscara de plátano (Musa paradisiaca)	33
Figura 3 Mapa de ubicación de la laguna Quiulacocha	37
Figura 4 Medición de parámetro in situ	43
Figura 5 Preparación del bioadsorbente natural.....	44
Figura 6 Método del test de jarras.....	45
Figura 7 Digestión de las muestras	46
Figura 8 Lectura de las muestras en el equipo de absorción atómica	46
Figura 9 Análisis del tiempo de agitación optimo	48
Figura 10 Remoción de plomo en el 1er tratamiento usando bioadsorbente natural	51
Figura 11 Remoción de plomo en el 2do tratamiento usando bioadsorbente natural	53
Figura 12 Remoción de plomo en el 3er tratamiento usando bioadsorbente natural	55
Figura 13 Efecto del tiempo de agitación en la remoción del plomo	57

RESUMEN

La gestión de aguas impactadas por drenaje ácido de mina (DAM) representa uno de los principales desafíos ambientales en zonas con actividad minera, debido a la presencia de metales pesados que deterioran la calidad del agua y generan riesgos para la salud humana. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la cáscara de plátano como bioadsorbente para la remoción de plomo (Pb) en la laguna Quiulacocha. Se realizó la caracterización fisicoquímica del agua, registrándose un pH de 2.57 y una concentración inicial de plomo de 0.785 mg/L, valores que superan los límites máximos permisibles. Se aplicó el método de prueba de jarras, variando la dosis del bioadsorbente y el tiempo de contacto. Los resultados evidenciaron que la mayor eficiencia de remoción (92.27%) se alcanzó con una dosis de 5 g y un tiempo de 60 minutos, reduciendo la concentración de plomo a 0.061 mg/L. Se concluye que la cáscara de plátano constituye una alternativa sostenible, económica y eficiente para la remoción de metales pesados en aguas afectadas por DAM.

Palabras claves: drenaje ácido de mina, cáscara de plátano, bioadsorción.

ABSTRACT

The management of water affected by acid mine drainage (DAM) represents one of the main environmental challenges in mining areas due to the presence of heavy metals that deteriorate water quality and pose risks to human health. The objective of this study was to evaluate the efficiency of banana peel as a bioadsorbent for lead (Pb) removal in Quiulacocha Lagoon. Physicochemical characterization of the water was conducted, showing a pH of 2.57 and an initial lead concentration of 0.785 mg/L, values that exceed the maximum permissible limits. The jar test method was applied, varying the bioadsorbent dosage and contact time. The results showed that the highest removal efficiency (92.27%) was achieved with a dosage of 5 g and a contact time of 60 minutes, reducing the lead concentration to 0.061 mg/L. It is concluded that banana peel is a sustainable, low-cost, and efficient alternative for the removal of heavy metals in water affected by DAM.

Keywords: acid mine drainage, banana peel, bioadsorption.

I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas (TA) impactadas por drenajes ácidos de mina (DAM) se ha vuelto un desafío ambiental de escala global. En regiones con actividad minera, los cuerpos de agua reciben altos niveles de metales pesados, como plomo (Pb), arsénico y mercurio, afectando la biodiversidad acuática como la salud humana. A pesar de los avances en la tecnología de tratamiento de aguas (TA), los métodos convencionales no siempre son eficaces ni sostenibles, especialmente en áreas de difícil acceso. Esta situación ha impulsado la búsqueda de opciones más sostenibles y de bajo costo. En este marco, la investigación se enfoca en evaluar la aplicación de cáscaras de plátano (CP) como un agente natural de adsorción, con el objetivo de disminuir la concentración de contaminantes tóxicos, específicamente plomo (Pb), en fuentes hídricas con niveles elevados de acidez. La cual es importante ya que nos permite usar esta solución que es accesible y sostenible para la remoción de metales pesados como el plomo (Pb), especialmente en comunidades cercanas a estos cuerpos de agua contaminados o zonas mineras. El propósito de esta investigación es analizar la capacidad de la cáscara de plátano (CP) como material bioadsorbente para reducir la concentración de plomo (Pb) presente en aguas con alta acidez de la laguna Quiulacocha, 2024. Además, se estudiaron diferentes dosis de bioadsorbente y tiempo de agitación para identificar la cantidad y el tiempo más efectivo mediante el método de Test de Jarras. Finalmente, se han planteado enfoques novedosos y sostenibles orientados a mitigar los efectos negativos, preservar la diversidad biológica y fomentar el aprovechamiento responsable de los residuos orgánicos.

1.1. Descripción y formulación de problema

1.1.1. Descripción del problema

La contaminación del agua a nivel mundial representa un problema ambiental crítico que impacta tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana. La Oficina Nacional de Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) señala que grandes volúmenes de residuos, tales como metales pesados, sustancias radioactivas y plásticos terminan en el mar. Asimismo, se dice que Asia es uno de los continentes más afectados debido a su elevada población e industrialización, tales como países de China, Bangladesh. A pesar de que numerosos países tienen una normativa legal que impide la descarga directa a los cuerpos de agua, su mayoría no logran implementarla (Gómez, 2018).

En América del Sur, la contaminación es un problema complejo y significativo, ya que se ha ido incrementando cada día más, no solo está perjudicando el bienestar humano, sino que también está deteriorando significativamente su calidad de vida. De acuerdo con Waldick (2003), investigadora de la International Development Research Centre (IDRC), menciona que la extracción de los minerales especialmente el oro, genera grandes volúmenes de residuos de relave como metales pesados (plomo, mercurio, cianuro, etc.) que se vierten a los cuerpos de agua, situación que amenaza tanto el equilibrio de los ecosistemas acuáticos como el bienestar de las poblaciones cercanas, como ocurre en el río Puyango, en Ecuador.

En Perú la minería contribuye al PBI, además, es una de las principales inversiones del país. Sin embargo, la contaminación causada por la actividad minera como fundiciones, emisiones mineras, aguas ácidas y relaves mineros están ocasionando un grave deterioro ambiental, además de afectar negativamente la salud de las personas. Ya que esta contaminación, junto a la escasez de agua, el crecimiento demográfico, la muerte de animales, genera desesperación ante una crisis

de agua, amenazando los cuerpos hídricos y otras necesidades más del ser humano. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2012), en el país se identifican diversos problemas ambientales como los pasivos mineros, derrames de petróleo y el vertido de aguas residuales sin tratamiento por parte de algunas industrias. Las regiones más afectadas por la contaminación de agua en el Perú son Madre de Dios, Lima, Junín, Pasco y Puno.

La laguna Quiulacocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, en el departamento de Pasco, constituye actualmente un pasivo ambiental minero, caracterizado por su coloración rojiza y anaranjada. Asimismo, los pobladores aledaños a esta laguna (a menos de 50 metros), están siendo afectados por intoxicación de plomo (Pb) y otros metales. En el año 1996, La Municipalidad Distrital de Simón Bolívar indica que “los profesionales de farmacia y bioquímica de la decana de América” (p. 9), realizó los análisis sanguíneos en adolescentes de entre 14 y 16 años, evidenciando concentraciones elevadas de plomo (Pb) en el organismo, con valores que oscilan entre 28 a 60 $\mu\text{g}/\text{dl}$, superando los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), representando un riesgo significativo para la salud humana. De igual manera, La laguna está dañando la ecología, ya que presenta contaminación directa con el aire, agua y suelo, degradando la fauna y flora desde que inicio las actividades mineras con la empresa Volcán Compañía Minera S.A. que adquirió Centromin Perú y entre otros.

En virtual de todo lo expuesto, numerosos autores han considerado utilización de bioadsorbente natural, tales como las cáscaras que son residuos originados por el consumo de frutas, debido a su capacidad de adsorción de metales pesados (AMP). En consecuencia, el plomo (Pb) es considerado uno de los elementos tóxicos más perjudiciales, presente de forma natural en diversas regiones del mundo, principalmente en forma de galena (sulfuro de plomo). La fuente de ingreso del plomo (Pb) se encuentra en inhalación, ingestión y cutánea, depositándose en el cuerpo

y afectando las células sanguíneas, nervios, riñones, huesos, entre otros (Ministerio de Salud, 2007, p. 9).

Por lo tanto, resulta esencial promover acciones orientadas a la recuperación y restauración ambiental mediante el uso de técnicas que permitan reducir la presencia de plomo (Pb) en las aguas con alta acidez de la Laguna Quiulacocha. En este contexto, se plantea el empleo de materiales orgánicos como la cáscara de plátano (CP) con propiedades adsorbentes, en reemplazo de sustancias químicas convencionales, ya que representa una alternativa más accesible económicamente. Según lo señalado por Vásquez et al. (2008), este residuo vegetal constituye una opción viable que está contribuyendo a enfrentar desafíos ambientales.

1.1.2. Problema General

¿Cuál es la eficiencia de la cáscara de plátano como bioadsorbente de plomo (Pb) en la laguna de Quiulacocha, 2024?

1.1.3. Problema Específico

- ¿Cuáles son los niveles de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua de la laguna de Quiulacocha, y estos cumplen con los LMP?
- ¿Cuál es la dosis o cantidad optima de la cáscara de plátano (CP) como material bioadsorbente en la reducción de plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha, 2024?
- ¿Cuál es el tiempo de contacto optimo de la cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente para la remoción de plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha, 2024?
- ¿Cuáles son las estrategias innovadoras y sostenibles que lograran mejorar el tratamiento el agua acida (TAA) de la laguna Quiulacocha?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Nacionales

Mallqui et al. (2021) en su estudio Evaluó la influencia del almidón de la cáscara de plátanos (CP) en la remoción del cobre realizando una investigación experimental. Primeramente, se cortó la cáscara de plátanos (CP) en trozos pequeños y fueron llevados a la estufa a una temperatura de 60 °C por un tiempo de 24 horas. Después, se llevó la cáscara de plátanos (CP) a triturar en un molino, y como producto de esto, se pasó a tamizar en mallas. Asimismo, preparó una disolución de cobre con una concentración de 4.493 ppm. Luego, se aplicó el procedimiento de prueba de jarras empleando un coagulante de origen natural en concentraciones de 300, 400, 500 y 600 ppm, respectivamente. Durante la etapa de coagulación, se estableció un tiempo de contacto de 5 minutos con una velocidad de agitación de 200 rpm, mientras que, para el proceso de floculación, los tiempos fueron de 15 y 20 minutos a 50 rpm. Las muestras fueron trabajadas con el espectrofotómetro para identificar el contenido residual de ion cobre. Como resultado, se obtuvo una reducción del 61.955 % en la concentración de cobre al emplear una dosis de 600 ppm del coagulante natural, con un tiempo de floculación de 20 minutos. Esto demuestra que existe una relación directa entre el tiempo de contacto y la cantidad del agente coagulante en el proceso de reducción del cobre. Los investigadores sugieren analizar el desempeño del material adsorbente en descargas industriales, como las generadas por actividades mineras, con la finalidad de validar los resultados previamente obtenidos.

Asimismo, Carhuaz (2022) en su estudio tuvo como objetivo poder reducir o minimizar el pH “Tratamiento de Aguas Ácidas (TAA) del pasivo Ambiental minero Quiulacocha, mediante pH de 2 – 3 hasta 9 -9.5, para ello utilizó el método de la planta de tratamientos de Neutralización de Aguas Ácidas de la empresa Activos Mineros SAC (AMSAC). Por lo tanto, se usaron 282,000

kilos de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para un volumen de 74,340.00 m³. Finalmente, se obtuvo un resultado satisfactorio de reducción de pH a 9.02.

De acuerdo con Vizarrata (2021), en su investigación analizó y evaluó el nivel de riesgo ecotoxicológicos usando como muestra el agua de la laguna Quiulacocha del distrito Simón Bolívar, departamento de Pasco. Examinó las muestras mediante el espectrómetro, teniendo en cuenta la normativa peruana. De la misma línea, identificó indicios de concentraciones de níquel, plomo, cromo, cadmio y, entre otros. Asimismo, llevó a cabo los procedimientos de lixiviación de caracterización de toxicidad (TCLP) a todas las muestras de aguas con el fin de determinar el nivel o rango de toxicidad, lo cual generó una toxicidad de “Alta a Muy Alta”. El autor recomienda explorar formas o métodos de tratamientos de estas aguas (TA), debido a que la población se encuentra expuesta diariamente a este pasivo ambiental.

Huaranga et al. (2022) investigaron la capacidad y efectividad de los nanodendímeros de humus, compost, así como de los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos purificados, en la eliminación específica de plomo (Pb). Asimismo, el autor afirma que los nanodendímeros contienen grupos hidroxilo y/o amino para la adsorción del metal (AM). Para ello utilizó una muestra de 200 ppm de plomo (Pb), ya que el relave minero contenía 3399 ppm de plomo (Pb). En conclusión, el análisis cuantitativo evidenció que el ácido húmico puro tiene mayor capacidad de remoción de 93.35% y el ácido fúlvico de 44.85%, mientras que el humus removió el 9.20% y el compost el 6.35% de plomo (Pb). Finalmente, el autor recomienda usar ácidos orgánicos, tales como oxálico, cítrico, etc.

Collantes et al. (2023) indicaron que diversos elementos químicos con alta densidad están provocando alteraciones en los ecosistemas acuáticos. Por ello, evaluó la eficiencia del biocarbon de lodo para la eliminación de estos elementos químicos como el Zn y Fe presentes en el agua de

la laguna Quiulacocha. Durante esta investigación se realizó la caracterización de la muestra de agua ácida, seguidamente se empleó 10 gr y 20 gr de este biocarbón a 350 °C y 650 °C para una concentración de hierro a 1950 mg/L y zinc a 81mg/L. De las cuales, se obtuvieron como resultado la remoción del 75,41% en Zn y 66,1% en Fe. La investigación demostró que el biocarbón es eficiente para la eliminación de iones de estos metales (Zn y Fe) de las aguas ácidas de Quiulacocha.

De manera similar, la investigación desarrollada por Gómez (2020) utilizó residuos de cáscara de plátano (CP) como componente central en un sistema de filtración biológica, con el fin de evaluar la eliminación de metales pesados presentes en el río Santa, específicamente en el tramo comprendido entre Recuay y Ticapampa. Para ello, el material fue secado, triturado y tamizado para obtener un polvo fino de cáscara de plátano (CP), que posteriormente se utilizó en el biofiltro destinado a la remoción de metales pesados. Para este proyecto trabajó con 20 y 30 gr de cáscara de plátanos (CP) en un tiempo de 60 minutos para luego usarlo en el biofiltro y poder calcular la eficiencia de esta. Por último, comprobó la eficacia de la cáscara de plátano (CP) en la remoción de los metales pesados, ya que consiguió la remoción de 89% de As, 92% de Pb, 37% de Mn y 89% de Fe.

1.2.2. Antecedentes Internacionales

Según Mpagi et al. (2023) en su estudio de tratamiento de agua (TA) mediante coagulantes naturales, el estudio busca determinar la eficacia de la cáscara de cactus y plátano en el tratamiento de aguas (TA). Mencionan que los plátanos y los cactus son eficaces en el tratamiento de agua (TA), ya que el cactus (*Opuntia ficus*) elimina la turbidez y el DQO a un 99% en agua sintética y a un 75 % en aguas residuales de curtiduría. De igual manera, la cáscara de plátano (CP) eliminó la turbidez de las aguas residuales sintéticas (ARS) a un 88% y en aguas residuales municipales

(ARM) tuvo una eficiencia del 66.67%. Los autores señalan que, los grupos funcionales como el OH, C=O y COOH- se encuentran presentes en estas especies y son la causa de la actividad de coagulación. En conclusión, los coagulantes naturales (CN) son una de las alternativas más económica y accesible para mejorar la calidad de vida de comunidades vulnerables sin acceso a servicios básicos (CB), pero que si tienen acceso a utilizar estos coagulantes naturales (CN).

En ese sentido, Rojas (2022) investigo que la cáscara de plátano (CP) contiene pectina, un polisacárido presente en la pared celular y tejidos de frutas y verduras. Además, posee grupos funcionales como hidroxilo (-OH) y carboxilo (-COOH), los cuales son fundamentales en los procesos de tratamiento de aguas (TA). Por lo tanto, la cáscara de plátano (CP) actúa como un floculante natural (FN) y constituye una de las alternativas más económicas y eficaces para la adsorción de metales pesados (AMP). Para confirmar la información. Preparó 4 muestras a diferentes concentraciones, tales como 1, 5, 10 y 20 ppm para cada ión. Posteriormente, se le agregó 2 gr de pectina a las soluciones de 70 ml para luego llevarlas al espectrómetro y examinar las concentraciones finales. Además, obtuvo la remoción o adsorción de Cu al 96.06, de Pb a 92.85% y Cr a 81.58%, con ellos comprobó la efectividad de utilizar la pectina de la cáscara de plátano (CP). Finalmente, se recomienda tener las cáscaras de plátanos (CP) secas, ya que al estar en el suelo o intemperie pueden descomponerse.

Según Johnson et al. (2023) en la investigación buscan eliminar los metales como el arsénico y plomo (Pb) de las aguas residuales (AR). Asimismo, mencionan que, desde hace mucho tiempo y en la actualidad las aguas residuales presentan una preocupación ambiental que agrava la salud de las personas. En consecuencia, esta investigación el autor analizó la efectividad de la eliminación de Arsénico (V) y Plomo (II) de las aguas residuales. En primer lugar, preparó el biocarbón de cáscara de plátanos (CP) con nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), ácido sulfúrico (H_2SO_4),

nitrate ferrico ($\text{Fe}(\text{NO}_2)_3$) y Hidrogenosfosfato de diamonio como adsorbente para remover metales pesados (RMP). En las pruebas se eliminó el 98,7% en As (V) y 90,3% en Pb (II). Finalmente, recomendó utilizar la cáscara de plátanos (CP) como adsorbente en un procedimiento factible y ambiental, ya que se trata de un insumo de bajo costo.

Además, Wattanakornsiri et al. (2022) en su estudio analizaron los bioadsorbentes naturales como la cáscara de pitaya, rambután y maracuyá para remover iones de Pb (Pb^{2+}) y Cad (Cd^{2+}) con el fin de encontrar la concentración óptima del bioadsorbente. Para ello, usaron el equipo de adsorción atómica o espectrómetro. Se evaluaron los resultados obtenidos a distintas cantidades del material adsorbente, determinándose que una dosis de 0.25 g, a pH 4 y un tiempo de contacto de 180 minutos, fue la condición más efectiva para captar iones de plomo divalente (Pb^{2+}) y cadmio divalente (Cd^{2+}) a una concentración de 100 mg/L. Constatando así la remoción del 97.87% de Pb (Pb^{2+}) y 97.10% de (Cd^{2+}) mediante la cáscara de rambután. Finalmente, los autores recomiendan los adsorbentes naturales (AN), ya que son económicos y prometedores en la eliminación de estos elementos químicos (Pb (II) y Cd (II)).

De acuerdo con el estudio desarrollado por Hernández et al. (2020), se empleó la cáscara de plátano (CP) como material bioadsorbente para reducir la presencia de cromo en su forma hexavalente en aguas con alto grado de contaminación. En el desarrollo del estudio, se abordaron dos fases experimentales. En la primera, se empleó 1 g de biomasa proveniente de cáscara de plátano (CP) para tratar soluciones con 20 mg/L de cromo en su estado hexavalente, a valores de pH 3, 5 y 7. En la segunda etapa, se incrementó la cantidad de CP a 3 g, manteniendo un pH entre 3 y 3.5, y aumentando las concentraciones del metal a 40 y 80 mg/L. Los resultados mostraron que, a medida que el pH aumentaba, la eficiencia del proceso de adsorción tendía a disminuir. Como resultado final, se identificó la relación ideal entre los parámetros operativos que posibilitó

la reducción superior al 92 % del cromo en su forma hexavalente (Cr (VI)), trabajando en un rango de pH de 3 a 3.5. Los investigadores concluyen que la cáscara de plátano (CP) presenta un alto potencial como adsorbente natural (AN) para la captura de Cr (VI) en soluciones contaminadas.

Maheshwari et al. (2023) durante su investigación, evaluó la efectividad del uso de la cáscara de naranja y los plátanos como bioadsorbente naturales en los efluentes residuales. Dado que son productos biológicos utilizados para mitigar el impacto ambiental (IA). Además, se evaluaron variables tales como la concentración inicial, velocidad de agitación, pH y dosis del adsorbente natural (AN). Los resultados indicaron una remoción del 76 % del colorante utilizando una dosis de 1 g de AN para una muestra de 50 ml, con una velocidad de 200 rpm y pH 8. Finalmente, los datos investigados, fueron respaldados por la validación de adsorción de estos bioadsorbente natural.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de la cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente para la remoción de plomo (Pb) en el Drenaje Acido de Mina de la laguna de Quiulacocha, 2024

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los niveles de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua de la laguna Quiulacocha y si estos cumplen con los LMP (Limites Máximo Permisible) según la normativa del Perú.
- Determinar la dosis optima de la cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente en remoción de plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha

- Obtener el tiempo de agitación óptimo de la cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente para la remoción de plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha
- Proponer estrategias innovadoras y sostenibles para la mejorar el tratamiento el agua ácida (TAA) de la laguna Quiulacocha.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

La presencia de elementos metálicos tóxicos en ecosistemas hídricos constituye en una preocupación ambiental relevante, dado que su impacto perjudica tanto la salud de las personas como en la diversidad biológica. Entre estos contaminantes, algunos compuestos metálicos específicos presentan una especial peligrosidad por su persistencia y bioacumulación. La remoción de estos contaminantes es importante, y la búsqueda de nuevas alternativas sostenibles y efectivas ha llevado a explorar el uso de materiales naturales como bioadsorbente. En este sentido, se ha evidenciado que ciertos residuos orgánicos (RO), especialmente las cáscaras de frutas poseen la capacidad de adsorber iones con cargas tanto negativas como positivas, facilitando la fijación y eliminación de metales pesados (MP), como el plomo (Pb).

Para el presente estudio se empleó la cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente natural (BAN), debido a su amplia disponibilidad, bajo costo y eficaces propiedades adsorbentes. Esta alternativa representa una solución más ecológica y accesible en comparación con los floculantes químicos e inorgánicos (FCI), los cuales frecuentemente generan efectos adversos sobre el medio ambiente. Asimismo, la optimización de la dosis y del tiempo de contacto del material adsorbente resulta fundamental para asegurar una alta eficiencia en la remoción de plomo (Pb). Esta mejora contribuiría de forma significativa a la calidad del agua en la laguna de Quiulacocha, un cuerpo

hídrico con condiciones ácidas que se encuentra amenazado por la contaminación con metales pesados (MP). Esta investigación no solo enfrenta un problema ambiental crítico, sino que también promueve el uso de métodos sostenibles y de bajo costo para la eliminación de contaminantes, como los metales pesados (MP), los cuales podrían ser considerados en investigaciones futuras para el tratamiento de aguas (TA) y en su implementación en el campo.

1.4.2. Justificación Metodológica

En esta investigación se aplicó el método de prueba de jarras (PJ), el cual permite evaluar parámetros físicos y químicos relacionados con los procesos de floculación y sedimentación. Entre estos se incluyen la velocidad y el tiempo de mezcla del bioadsorbente natural (BAN) con agua ácida, la determinación del pH óptimo, la dosis adecuada, así como la eficiencia en la remoción de contaminantes. Diversos estudios han demostrado que las cáscaras de frutas poseen un alto potencial como bioadsorbente, debido a que su pared celular contiene componentes como almidón y pectina, los cuales presentan grupos funcionales como amino (-NH₂), carboxilo (-COOH), hidroxilo (-OH) y sulfato (SO₄²⁻) responsables de la capacidad de adsorción de metales pesados (MP). Durante este proceso, las cadenas lineales de almidón interactúan mediante enlaces de hidrógeno entre sus grupos funcionales hidroxilo (-OH) y carboxilo (-COOH), lo que da lugar a la formación de un precipitado. Esta estructura facilita la atracción de iones metálicos con carga positiva, como los metales pesados (MP).

1.4.3. Justificación Práctica

Esta investigación plantea una solución práctica y asequible mediante el aprovechamiento de cáscaras de frutas, como la de plátano, como materia prima para la eliminación de plomo (Pb) en aguas ácidas de mina (AAM). El empleo de estos residuos orgánicos (RO) representa una alternativa eficiente y de bajo costo frente a los métodos tradicionales, al mismo tiempo que

fomenta la reutilización de materiales que, en otras circunstancias, serían descartados. Además, al implementar esta técnica, se contribuye significativamente a la reducción de los impactos negativos que el agua ácida de mina tiene sobre la salud y el medio ambiente, especialmente al evitar que los niveles de plomo (Pb) en el agua superen los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa peruana. La investigación no solo facilita el tratamiento de este tipo de contaminación de manera accesible, sino que también fomenta una nueva cultura ambiental orientada hacia el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos (RSO), promoviendo la sostenibilidad y el cuidado del entorno.

1.4.4. Justificación Social

Desde el ámbito social, se pretende establecer un tratamiento sostenible y económico frente a los tratamientos convencionales (TC) con el fin de mitigar la problemática ambiental ocasionada por la minería, ya que afecta la calidad de vida de las comunidades locales, el entorno ecológico y compromete los recursos hídricos, además, permitirá viabilizar alternativas para futuros proyectos de inversión. Asimismo, se podrá disminuir la contaminación por residuos sólidos orgánicos que se generan después de consumir plátanos. De esta manera, se busca contribuir con el bienestar de los habitantes y aportar nuevos conocimientos a la industria.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Ho= La cáscara de plátanos (CP) es eficiente como bioadsorbente para la remoción de plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha

H1= La cáscara de plátanos (CP) no es eficiente como bioadsorbente para la remoción de plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha

1.5.2. Hipótesis Específica

- Las características fisicoquímicas de las aguas ácidas exceden los Límites máximos permisibles acorde a la normativa peruana.
- La dosis optima de cáscara de plátano como bioadsorbente (BAN) remueven las concentraciones de plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha
- El tiempo de agitación optimo de la cascará de plátano como bioadsorbente influye en la remoción del plomo (Pb) del Drenaje Acido de Mina (DAM) de la laguna Quiulacocha.
- La implementación de estrategias innovadoras y sostenibles para el tratamiento del agua ácida logrará una remoción significativa de plomo (Pb) en la laguna Quiulacocha

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Aguas ácidas de mina

Los drenajes de mina (DAM) presentan elevados niveles de metales y compuestos como aluminio (Al), hierro (Fe), sulfato (SO_4^{2-}), al igual que zinc (Zn), manganeso (Mn), magnesio (Mg), plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As) y cobre (Cu). Estos elementos constituyen las principales fuentes de contaminación ambiental, afectando tanto la calidad de vida de las comunidades locales como de la salud de los cuerpos de agua (Aduvire, 2018).

2.1.1.1. Mecanismo de Formación de Agua Ácidas.

A. Oxidación.

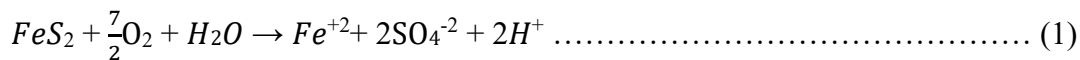
La formación de aguas con características ácidas es consecuencia de diversas reacciones químicas interdependientes. De acuerdo con Aduvire (2006), “existen varios factores que intervienen en este proceso, los cuales contribuyen significativamente a su generación” (p. 46).

Estos factores incluyen:

- Bacterias (*Thiobacillus ferrooxidans*)
- pH
- Minerales sulfuros.
- Temperatura y humedad de la atmosfera.
- Agua.
- El oxidante, que es el oxígeno proveniente del aire.

Las reacciones químicas que generan acidez se manifiestan principalmente a través de la oxidación de la pirita, uno de los sulfuros más comunes. En una primera etapa, los sulfuros

reaccionan con el oxígeno y el agua, dando lugar a la formación de sulfato (SO_4^{2-}), hierro ferroso (Fe^{2+}) e iones de hidrógeno (H^+).



Posteriormente, el hierro ferroso (Fe^{2+}) reacciona con el oxígeno (O_2) formando hierro férrico (Fe^{3+}):



Este proceso depende del pH ambiental y del sitio donde ocurre la oxidación. El hierro férrico (Fe^{3+}) puede precipitarse en forma de hidróxido de férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) o actuar como agente oxidante (ver ecuación 4). Cuando el pH es superior a 3.5, el hierro férrico tiende a precipitarse como hidróxido, lo que explica la presencia del característico precipitado rojizo observado en las minas que generan aguas ácidas.



Durante la generación de ácido y la consecuente disminución de la alcalinidad, el hierro férrico (Fe^{3+}) funciona como un agente oxidante clave, acelerando la oxidación química de sulfuros (S), como es el caso de la pirita (FeS_2), uno de los minerales sulfúricos más comunes en drenajes ácidos de mina (DAM).



B. Minerales Sulfuros.

Los minerales sulfurosos más conocidos de las aguas ácidas de mina (AAM) corresponden a los minerales de hierro, destacando especialmente la pirita (FeS_2), pirrotita y marcasita. Además, cualquier mineral sulfuro (MS) posee el potencial de oxidarse y liberar metales pesados a través del proceso de lixiviación.

2.1.1. Metales Pesados

Los metales pesados son elementos químicos presentes de manera natural en la corteza terrestre, distribuyéndose en diversos compartimentos del ambiente. Se considera metales pesados a los elementos químicos con alta densidad ($> 4 \text{ g/cm}^3$), peso atómico mayor a 20 y resultan tóxicos para las personas y medio ambiente. Algunos de estos elementos químicos son el cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), arsénico (As), y entre otros (Londoño et al., 2016).

2.1.1.1. Plomo.

El plomo (Pb) es un metal presente en bajas concentraciones en la corteza terrestre y se encuentra disperso en diferentes componentes ambientales tales como el aire, agua y suelo (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2014). Sus fuentes naturales son las emanaciones volcánicas, actividades como la minería, quema de combustible fósiles y manufactura Industrial. El plomo (Pb) es maleable con un punto de fusión de aproximadamente 327°C . Cuando se calienta a temperaturas superiores a 550°C , libera vapores totalmente tóxicos. Además, al reaccionar con el oxígeno del aire, se transforma en óxido de plomo (PbO_2), una sustancia contaminante, asimismo, al entrar en contacto con el agua, el plomo (Pb) puede formar óxidos solubles, que presentan toxicidad significativa para los ecosistemas acuáticos y vida humana (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2014).

En la actualidad, el plomo (Pb) se emplea en la fabricación de baterías, insecticidas, pigmentos, productos de metálicos y láminas de protectoras contra radiación ionizante, lo que lo convierte en un elemento esencial debido a su amplio uso en la industria (Albert, 2011).

2.1.1.2. Efectos a la salud por exposición de Plomo (Pb). Según el Ministerio de Salud (MINSa, 2007), en el Perú, las principales fuentes de exposición al plomo (Pb) se concentran en regiones como Lima, Callao, La Oroya, Cerro de Pasco, Cajamarca, Áncash y

Arequipa. Estas exposiciones están asociadas principalmente a actividades mineras, metalmecánicas e industriales, incluyendo la producción de baterías y pinturas, lo que genera riesgos tanto para los trabajadores como para las comunidades cercanas (p. 9). Asimismo, la exposición continua está causando deterioro en la salud, afectando el sistema nervioso central (SNC), causando debilidad muscular, anemia y aumento de la presión arterial (PA), dolores musculares y articulares, entre otros. La presencia de plomo (Pb) en mujeres embarazadas puede tener como consecuencia la pérdida del embarazo. Asimismo, la presencia de plomo (Pb) en niveles elevados puede ocasionar daños al cerebro, riñones, tanto en niños y adultos, ocasionando la muerte. Según Villantoy (2024), en Cerro de Pasco, 8 de cada 10 personas presentan niveles elevados de Pb en sangre que superan los límites establecidos por la normativa peruana e internacional en el caso de Cerro de Pasco.

2.1.2. Flocculación

El proceso de aglutinación o agrupamiento tiene como finalidad unir las partículas sólidas presentes en suspensión dentro del agua. Para ello, los agentes floculantes intervienen reduciendo las cargas eléctricas superficiales de dichas partículas, disminuyendo así la repulsión entre ellas y favoreciendo su agrupación (Rojas Ponte & Tiburcio Naves, 2022).

2.1.2.1. Tipos de Flocculación.

A. Flocculación Pericinetica.

Este comportamiento se debe al desplazamiento aleatorio de las moléculas de agua generado por la energía del calor, fenómeno que se conoce como agitación molecular o movimiento térmico aleatorio (Andía Cárdenas, 2000).

B. Flocculación Ortocinetica.

Este proceso se fundamenta en las colisiones entre partículas generadas por el movimiento del agua, el cual es impulsado por energías externas al cuerpo hídrico, ya sean de origen mecánico o hidráulico (Andía Cárdenas, 2000).

C. Flocculantes Orgánicos.

“Son polímeros con peso molecular alta, presentan moléculas orgánicas y son solubles en el agua. Asimismo, estos flocculantes pueden ser: minerales, orgánicos naturales y orgánicos de síntesis" (Andía Cárdenas, 2000).

2.1.3. Prueba de Jarras

La prueba de jarras (PJ) es un método habitual en los laboratorios de tratamientos de agua (TA), ya que utilizan métodos basados en reacciones químicas para analizar muestras de agua con el objetivo de determinar el tratamiento más efectivo y la cantidad necesaria de insumo, ya sean sintéticos o de origen natural en un flujo específico de agua. Se considera como prueba de jarras (PJ) a una evaluación a escala piloto que simula los procesos de coagulación y fluctuación con diversas dosis químicas, con el objetivo de determinar la dosis mínima de coagulante necesaria para optimizar la calidad del agua.

Este método de prueba de jarras no solo ahorra tiempo, sino también costo en futuros proyectos. Ya que se puede probar diferentes dosis de tratamiento con el fin de asegurar de que no se está usando ni gastando por demás.

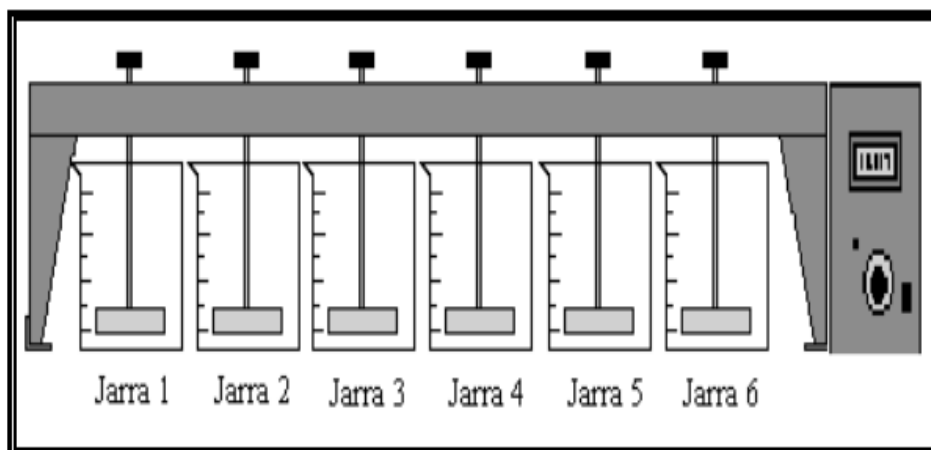
En esta etapa se evalúan series característica, tales como:

- pH
- Temperatura
- Concentración del coagulante

- Grado de agitación (GA)
- Tiempo de sedimentación (TS)

Figura 1

Instrumento utilizado para la realización de la “Prueba de Jarras”



Nota. Sapporo City Institute of Public Health, 2003.

2.1.4. Plátanos (*Musa paradisiaca*)

Esta fruta tropical, originaria de regiones del continente asiático, destaca por su elevado valor nutricional, al aportar potasio, carbohidratos, vitaminas y minerales esenciales para el organismo. Conocida científicamente como *Musa paradisiaca*, constituye uno de los cultivos más extendidos en el mundo y figura entre los alimentos de mayor consumo humano, lo cual conlleva también a la generación significativa de residuos orgánicos asociados a su uso y comercialización.

Tabla 1

Clasificación taxonómica del plátano

Categoría	Clasificación
Reino	Plantae

División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	<i>Musa</i>
Especie	<i>Musa paradisiaca</i>
Nombre vulgar	Plátano

Nota. Adaptado de Taxonomía y morfología del plátano (*Musa paradisiaca*), por Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020).

2.1.5. Cáscara de plátanos

El plátano es una fruta de los más conocidos en el mundo. La importancia de esta fruta radica en la alimentación de muchas personas. Asimismo, el área de cultivos de la fruta oscila entre las 500,000 hectáreas en las regiones tropicales. Además, la revista (Caballero Alvarado, 2014) señala que la cáscara del fruto tropical (*Musa paradisiaca*) puede ser empleada como un material de origen natural en procesos de tratamiento de aguas residuales, destacando su efectividad en la eliminación de metales presentes en dichos efluentes industriales.

La cáscara de plátano (CP) alberga numerosas proteínas, aminoácidos, potasio, etc. Durante la maduración, se evidencia un efecto positivo en la composición de la fibra de la cáscara, la cual está conformada por celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina.

Dentro de los compuestos poliméricos con potencial para captar elementos metálicos en soluciones contaminadas, se destacan la pectina y la lignina por su estructura química y propiedades funcionales. La pectina se encuentra en la membrana celular de las frutas, al igual que en la cáscara de los plátanos (CP), ya que está compuesta por grupos funcionales como hidroxilo

y carboxilo. Dado que, su estructura química del adsorbente posibilita que se establezca el contacto con el contaminante. Asimismo, controla el pH y descontamina el agua. Además, el plátano contiene almidón que se encuentra en el interior de las células, formado por partículas insolubles. La composición del almidón contribuye a disminuir los valores bajos del pH y es un excelente floculante para el tratamiento de aguas. La materia prima utilizada en el proceso de bioadsorción fue la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), como se muestra en la **Figura 2**.

Figura 2

Cáscara de plátano (Musa paradisiaca)



Nota. Imágenes adaptadas de FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020).

2.2. Marco Legal Ambiental

El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que establece los valores de referencia para la calidad del agua, señala que los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) son parámetros que permiten evaluar la presencia de compuestos, elementos o agentes en medios como el aire, agua o suelo, en tanto estos actúan como receptores. Dichos valores están diseñados para no implicar riesgos relevantes para la salud de las personas ni para los ecosistemas. Asimismo, el decreto contempla distintas categorías de aplicación según el uso del recurso, y son los siguientes:

- Categoría 1: Poblacional
- Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras continentales.
- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

La Ley N.º 28611, conocida como Ley General del Ambiente y promovida por el Ministerio del Ambiente (MINAM), reconoce como un derecho fundamental de toda persona el vivir en un ambiente sano, armónico y propicio para su pleno desarrollo. Asimismo, establece el deber de todos los ciudadanos de participar activamente en una gestión ambiental responsable, velando por la protección del entorno, la salud pública, la diversidad biológica, y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, con miras a garantizar un desarrollo sostenible para el país.

La Ley N.º 29338, conocida como Ley de Recursos Hídricos y reglamentada mediante el Decreto Supremo N.º 001-2010-AG, dispone en su capítulo VI, artículo 131, que el vertimiento de aguas residuales tratadas en cuerpos de agua naturales ya sean continentales o marinos requiere autorización por parte de la Autoridad Nacional competente. Dicha autorización solo puede otorgarse si se cuenta con una evaluación técnica positiva emitida por las autoridades responsables en materia ambiental y de salud. Además, el vertimiento debe cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA-agua) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos.

Decreto Supremo (D.S) N° 010-2010-MINAM establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos provenientes de actividades minero-metalúrgicas, definiendo los valores máximos permitidos para las emisiones derivadas de estas operaciones para la cual se estableció lo siguiente:

Tabla 2

Límites máximos permisibles para descargas de efluentes de actividad minero metalúrgico

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio Anual
pH	mg/L	6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Nota. Tomado de *Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas*, Ministerio del Ambiente (2010).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Este trabajo se enmarca en el enfoque de investigación aplicada, ya que su objetivo principal es brindar respuestas prácticas a problemáticas contemporáneas (Hernández-Sampieri et al., 2014). En esa línea, la finalidad del estudio es contribuir con propuestas orientadas a mitigar los impactos ambientales que ponen en riesgo la salud de las personas. En particular, la investigación busca remover el plomo (Pb) presente en aguas ácidas (AA) mediante la utilización de cáscara de plátanos (CP) como bioadsorbente.

El diseño es experimental, ya que se manipulan la variable independiente como bioadsorbente de cáscara de plátanos (CP), para luego ponerla en contacto con la variable dependiente, que este caso es la remoción del plomo (Pb) en las aguas ácidas.

$$G = O_1 - X - O_2$$

Donde:

- O_1 : Análisis inicial de Aguas Ácidas (AA)
- X: Aplicación del tratamiento con cáscara de plátanos (CP)
- O_2 : Resultados de análisis final de Aguas Ácidas (AA)

El nivel de investigación está bajo un enfoque de investigación explicativo, ya que tiene como objetivo principal determinar la relación causa-efecto entre las variables en estudio. En este contexto, la variable independiente corresponde al uso de un bioadsorbente de origen natural obtenido a partir de la cáscara de plátanos, mientras que la variable dependiente está representada

en la remoción de la concentración de metales pesados presentes en este caso el Pb el drenaje ácido proveniente de actividades mineras.

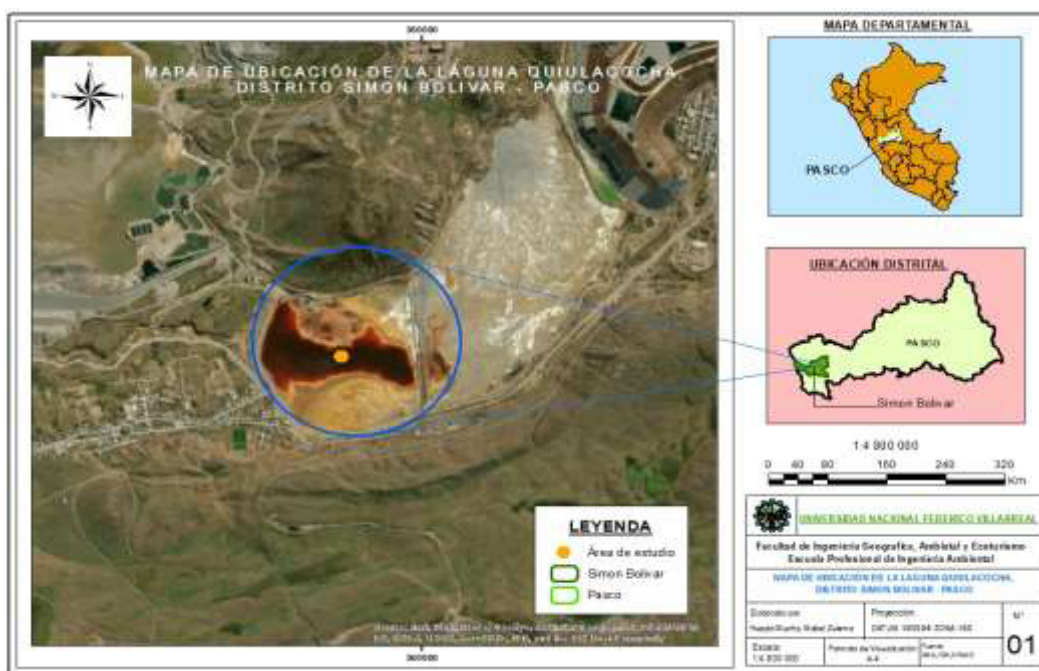
3.2. **Ámbito temporal y espacial**

Temporal: La investigación “Eficiencia de la cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente de plomo (Pb) en la laguna Quiulacocha - Pasco, 2024” se comenzó con la revisión bibliográfica de revistas, artículos científicos, tesis nacionales e internacionales durante los meses de julio y agosto del 2024, asimismo, la programación del desarrollo experimental fue en el mes de setiembre a octubre tanto en campo y laboratorio. Finalmente, la redacción final de la investigación fue desarrollada en noviembre del 2024.

Espacial: La laguna Quiulacocha se localiza en el distrito de Simón Bolívar, en la provincia de Pasco. Por otro lado, el análisis de sus características fisicoquímicas se llevó a cabo en el laboratorio del anexo 07 de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Figura 3

Mapa de ubicación de la laguna Quiulacocha



3.3. Variable

Una variable es un atributo, propiedad, característica o factor de un fenómeno que tiene la capacidad de cambiar y puede ser medido y evaluado (Hernández-Sampieri et al., 2014).

3.3.1. Variable Independiente

Es aquella donde el investigador controla y/o modifica durante la investigación sobre la variable dependiente. Asimismo, esta variable afecta o determina de manera significativa el comportamiento de la variable dependiente (Hernández-Sampieri et al., 2014)

En esta investigación la variable independiente es: “Eficiencia de la cáscara de plátano (CP)”.

3.3.2. Variable Dependiente

Es la variable que se ve influenciada, condicionada, que observa o mide para ver cómo cambia o se ve afectada por la manipulación de dicha variable independiente (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Para la presente investigación la variable dependiente es: el plomo (Pb) en aguas ácidas.

Tabla 3

Operacionalización de variables de Investigación

Tipo	Concepto de la variable	Concepto Operacional	Dimensiones	Variables	Indicador
Variable Independiente Eficiencia de la cáscara de plátanos	El uso de la cáscara de plátano es un tratamiento sostenible, ya que sus compuestos de hidroxilo y carboxilo ayudan a eliminar metales pesados (Rojas Ponte & Tiburcio Naves, 2022).	Se utilizo el método de prueba de jarras para determinar las características fisicoquímicas de los ensayos, como la dosis y el tiempo de mezcla del bioadsorbente con agua ácida y finalmente, ver la eficiencia.	Cáscara de plátanos	Dosis	mg/L
				Tiempo	minutos
Variable Dependiente Plomo en aguas ácidas	Las aguas ácidas contienen altas concentraciones de metales como aluminio, plomo, etc. Lo que contribuye a la contaminación y degradación de la calidad de vida y los cuerpos hídricos. (Aduvire, 2018)	El tratamiento de las aguas acidas se evaluó en relación con los parámetros fisicoquímicos como Temperatura, Conductividad Eléctrica, pH y la concentración de pb cuyo indicador fue medido a través del porcentaje de eficiencia.	Parámetros Físicos	pH	Unidad de PH
				Conductividad Eléctrica	μS/cm
				Temperatura	°C
			Parámetros Químicos	Concentración Inicial de Pb	mg/L
				Concentración Final de Pb	mg/L
Eficiencia	%				

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población.

La población se define como el conjunto total de elementos o unidades de análisis que comparten características comunes y sobre los cuales se desea realizar inferencias en una investigación (Hernández-Sampieri et al., 2014).

En ese sentido, la población de estudio estuvo conformada por el agua de la Laguna Quiulacocha, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, provincia de Pasco, la cual presenta un volumen total aproximado de 110 000 L.

3.4.2. Muestra.

La muestra consistió en utilizar 45 L de agua de la Laguna Quiulacocha, acorde a la cantidad de pruebas a realizar.

3.4.3. Muestreo

El tipo de muestreo empleado fue no probabilístico, por conveniencia, debido a que la muestra de 45 L de agua fue recolectada en el punto de la laguna de más fácil acceso, considerando criterios operativos, sin aplicar procedimientos de selección aleatoria ni criterios estadísticos de representatividad.

3.5. Instrumentos

Para el desarrollo de la investigación, se diseñó un formato en relación con el registro de datos en campo, siguiendo el protocolo establecido por la Autoridad Nacional del Agua (2016), según lo indicado en el anexo 1. Este formato está estructurado de manera que facilita la recopilación de información clara y precisa. Incluye campos para registrar la fecha, hora, lugar de la observación, los parámetros a medir y espacio para anotaciones adicionales cuando sea necesario.

3.5.1. Equipos

- Balanza Analítica Electrónica
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica
- Medidor Multiparámetro portátil
- Floculador Programable o Test de Jarras
- Estufa de secado
- Molino Triturador

3.5.2. Materiales

- Fibra de vidrio
- Tubo de ensayo de 10 ml
- Fiola de 1L y de 50 ml
- Papel filtro
- Luna de reloj
- Vaso precipitado
- Espátula
- Guantes
- Mascarillas

3.5.3. Reactivo

- Agua destilada

3.6. Procedimiento

3.6.1. Determinación de los niveles de los parámetros fisicoquímicos del Drenaje Acido de Mina (DAM) y si estos cumplen con los LMP de la normativa del Perú

Para llevar a cabo la medición, se utilizaron las herramientas de protección individual conforme a lo estipulado en la Resolución Jefatural (RJ) N°010-2016 de la ANA, que aprueba los protocolos para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.

Posteriormente, para iniciar la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del Drenaje Ácido de Mina (DAM), se revisó la normativa ambiental vigente establecida en el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM, que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes del subsector minero.

Además, se comprobó que el equipo multiparámetro estuviera debidamente calibrado para medir parámetros: pH, conductividad eléctrica y temperatura. Una vez concluidas las mediciones, los valores obtenidos fueron contrastados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa ambiental vigente, lo que permitió continuar con la ejecución de los ensayos correspondientes. Asimismo, se utilizó una ficha de recolección de datos; este formato

corresponde a un modelo establecido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para registrar la información obtenida durante el trabajo de campo.

Figura 4

Medición de parámetro in situ



3.6.2. *Determinación de la dosis óptima del bioadsorbente natural para la remoción de plomo (Pb)*

Para la determinación de la dosis óptima, se llevaron a cabo los siguientes pasos:

Primer paso:

Para elaboración del bioadsorbente, se utilizó los equipos e instrumentos del laboratorio de FIGAE, asimismo, se recolectó cáscaras de plátano (CP), las cuales se limpiaron con agua destilada para remover las impurezas. Posteriormente, las cáscaras fueron sometidas a un proceso de secado en horno a 70 °C durante un periodo de 3 horas, distribuyéndolas de manera uniforme en una bandeja para asegurar una distribución homogénea del calor. Luego del secado, el material fue molido y pasado por un tamiz con abertura de 180 μm , obteniéndose así un polvo de textura fina.

Figura 5*Preparación del bioadsorbente*

Asimismo, se utilizó el método del Test de Jarras, realizando tres corridas experimentales con dos repeticiones por tratamiento, en las que se evaluaron dosis de 0,5; 1,25; 2,5; 3,75 y 5 g del bioadsorbente elaborado a partir de cáscara de plátano. Se tomo en referencia a los antecedentes considerando una velocidad de 200 RPM con tres tiempos de 60, 90 y 120 min.

En el primer tratamiento, se trabajó a 200 rpm durante 60 min; en el segundo tratamiento, a 200 rpm durante 90 min; y en el tercer tratamiento, a 200 rpm durante 120 min, aplicándose cada dosis del bioadsorbente a 1 L de muestra. Posteriormente, se consideró un tiempo de sedimentación de 30 min para cada tratamiento.

Figura 6

Método del test de jarras

**Segundo paso:**

Concluido el tratamiento de prueba de jarras, se ha extraído la muestra en una botellita estéril para luego realizar la digestión de las muestras utilizando HNO_3 (ácido nítrico) al 5% en la estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$ durante 4 horas, hasta lograr una evaporación aproximada del 75% del volumen de la muestra. Posteriormente, se completó el volumen a 100 mL con agua destilada, y las muestras fueron analizadas mediante un equipo especializado de absorción atómica, empleando una fiola aforada de 100 mL.

Figura 7*Digestión de las muestras*

Antes de realizar las lecturas de las muestras con el equipo espectrométrico especializado en la detección de metales, se elaboró la curva de calibración utilizando estándares de 0.0 mg/l, 0.5 mg/l, 1.0 mg/l y 2.0 mg/l, los cuales fueron preparados a partir de soluciones patrón de plomo (Pb) con una concentración de 50 mg/l.

Figura 8*Lectura de las muestras en el equipo de absorción atómica*

Tercer paso:

Concluido el análisis de laboratorio, se utilizó la ecuación identificada como ecuación 1 con el propósito de estimar la eficiencia en la eliminación de iones de plomo (Pb), teniendo como dato la concentración inicial y final de las muestras.

$$\%Remoción = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

C_o = *Concentración inicial de Pb*

C_f = *Concentración final de Pb*

Finalmente, se evaluaron los resultados obtenidos para establecer la dosis óptima del floculante natural utilizado en el tratamiento del efluente ácido proveniente de la actividad minera (DAM) en la zona de estudio.

3.6.3. Obtención del tiempo de agitación óptimo del bioadsorbente para la remoción de iones de plomo (Pb)

Con el propósito de obtener el tiempo de agitación óptimo, se utilizó el método o técnica del Test de Jarras. Seguidamente se procedió a trabajar con dosis de 0.5, 1.25, 2.5, 3.75 y 5g de bioadsorbente proveniente de la cáscara de plátanos (CP), aplicando tiempos de agitación de 60, 90 y 120 minutos y 200 RPM para cada tratamiento. Luego de realizar los ensayos, se analizó los resultados de los tratamientos para poder identificar el tiempo de agitación óptimo que removió más iones de plomo (Pb) para finalmente, realizar las conclusiones y recomendaciones respecto a la investigación.

Figura 9

Análisis del tiempo de agitación óptimo



3.6.4. Búsqueda de estrategias innovadoras y sostenibles para la mejorar el tratamiento el agua acida (AA)

Con el propósito de identificar alternativas innovadoras y sostenibles para reducir la concentración de elementos metálicos tóxicos, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de diversas fuentes, incluyendo estudios científicos, trabajos académicos e investigaciones previas relacionadas con el tratamiento de aguas con acidez elevada. Esta recopilación permitió destacar soluciones accesibles que puedan ser replicadas en futuros estudios mediante metodologías eficientes y de bajo costo.

3.7. Análisis de datos

En esta investigación, tras aplicar el ensayo de jarras y determinar la concentración de plomo mediante espectrometría de absorción atómica, se procederá al análisis del porcentaje de remoción utilizando herramientas estadísticas en Microsoft Excel. Los datos obtenidos durante la fase experimental fueron procesados e interpretados mediante tablas y gráficos estadísticos. Este

análisis permitirá calcular el porcentaje de remoción y evaluar la eficiencia del tratamiento aplicado en relación con la concentración inicial del elemento químico.

3.7.1. Análisis del porcentaje de remoción

El cálculo de la eficiencia en la remoción de plomo se realizará aplicando la ecuación 1, utilizando como referencia los valores de concentración inicial y final obtenidos de las muestras analizadas.

$$\% \mathbf{Remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

C_o = *Concentración inicial de Pb*

C_f = *Concentración final de Pb*

IV. RESULTADOS

4.1. Parámetros fisicoquímicos de las aguas de la Laguna Quiulacocha y si estos cumplen con los LMP

Se presentan los resultados del análisis preliminar del agua contaminada (DAM) de la Laguna Quiulacocha en su estado inicial, sin ningún tipo de tratamiento. Además, estos resultados se compararon con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo (D.S). N°010-2010-MINAM, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4

Caracterización del DAM en su estado inicial

Parámetro	Unidad	DAM	LMP*
pH	Unidad de pH	2.57	6-9
Conductividad Eléctrica	uS/cm	6053	--
Temperatura	°C	10.4	--
Plomo	mg/L	0.785	0.2

Nota. Límite Máximo Permissible (*), tomado del Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM.

De la tabla 4, se puede apreciar que los parámetros exceden los Límites Máximo Permissible (LMP) que establece la normativa peruana del Decreto Supremo (D.S). N°010-2010-MINAM, como el caso del pH, con un valor de 2.57, y la concentración del plomo (Pb), que es de 0.785 mg/L.

Respuesta de la hipótesis 1:

Según la tabla 4, se muestran los resultados obtenidos del análisis de las características físicas y químicas del agua de la laguna Quiulacocha, las cuales sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la normativa peruana.

4.2. Dosis optima de la cáscara de plátano como bioadsorbente en remoción de plomo (Pb) de la laguna Quiulacocha.

Para la obtención de los siguientes resultados se trabajó en una muestra de 1L de DAM a 200 RPM (Revolución por minuto) con 5 dosis diferentes de bioadsorbente de cáscara de plátanos (0.5, 1.25, 2.5, 3.75 y 5 g) para una concentración de iones de plomo (Pb) de 0.785 mg/L.

4.2.1. Primer tratamiento

A continuación, se muestran los resultados del ensayo, que inició con una corrida preliminar y se complementó con una repetición adicional. Los valores iniciales de las variables analizadas fueron los siguientes:

- Volumen total: 1L por cada muestra de tratamiento
- pH inicial: 2.57
- Concentración de partida de plomo: 0.785 mg/l
- Tiempo: 60 minutos

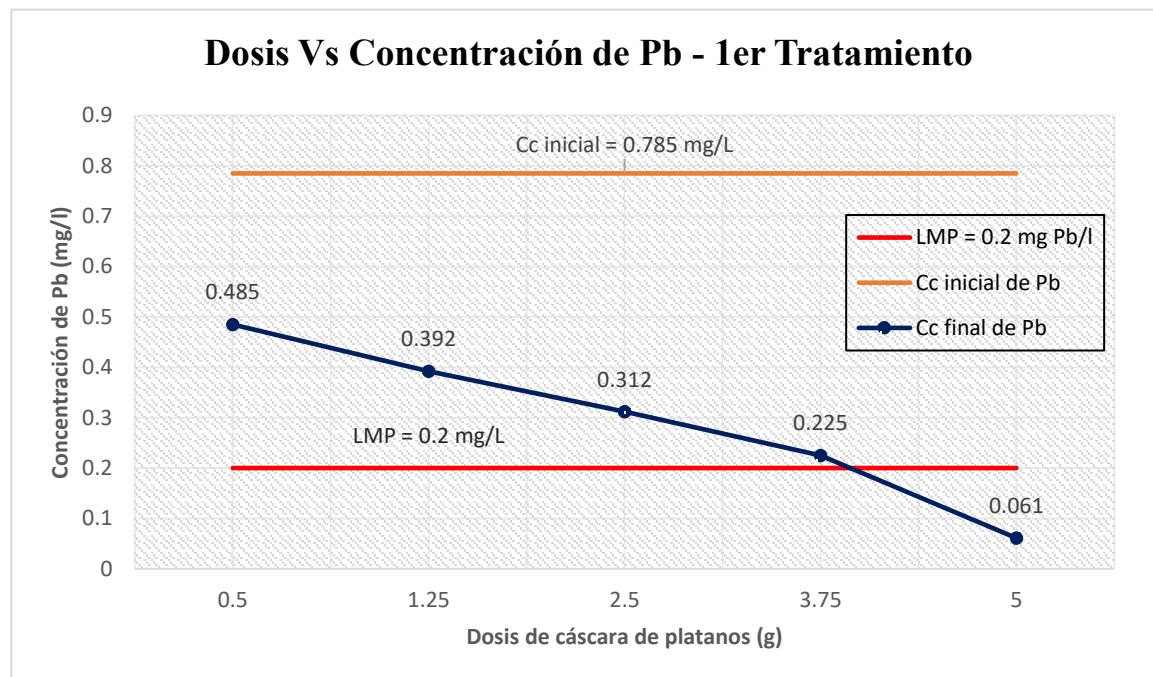
Tabla 5

Resultados del 1er tratamiento para la remoción de Pb

MUESTRA	Dosificación de la Cáscara de plátano (g)				
Tratamientos	0.5	1.25	2.5	3.75	5
Concentración Inicial Pb (mg/l)	0.785				
pH	2.89	2.80	3.52	3.46	3.39
Concentración Final Pb (mg/l)	0.485	0.392	0.312	0.225	0.061
Repeticiones					
1	0.486	0.381	0.321	0.212	0.058
2	0.483	0.403	0.303	0.239	0.064
PROMEDIO	0.485	0.392	0.312	0.225	0.061
%Eficiencia	38.28	49.87	60.10	71.16	92.27

Figura 10

Remoción de plomo en el 1er tratamiento usando bioadsorbente



Nota. En la figura 10, se puede observar que el bioadsorbente natural con dosis de 0.5g, 1.25g, 2.5g, 3.75g y 5g alcanzó un porcentaje (%) de remoción de plomo (Pb) de 38.28% a un 92.27%. Por lo tanto, la eficiencia máxima obtenida para la remoción de pb fue de 92.27% con una dosis de 5g de cáscara de plátanos (CP), en un tiempo de agitación de 60 minutos, cumpliendo con el LMP establecido en el Decreto Supremo (D.S). N°010-2010-MINAM.

4.2.2. Segundo tratamiento

A continuación, se presentan los resultados del ensayo, el cual comenzó con una corrida inicial y luego se complementó con una repetición adicional. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes

- Volumen total: 1L por cada muestra de tratamiento
- pH inicial: 2.57

- Concentración de partida de plomo: 0.785 mg/l
- Tiempo: 90 minutos

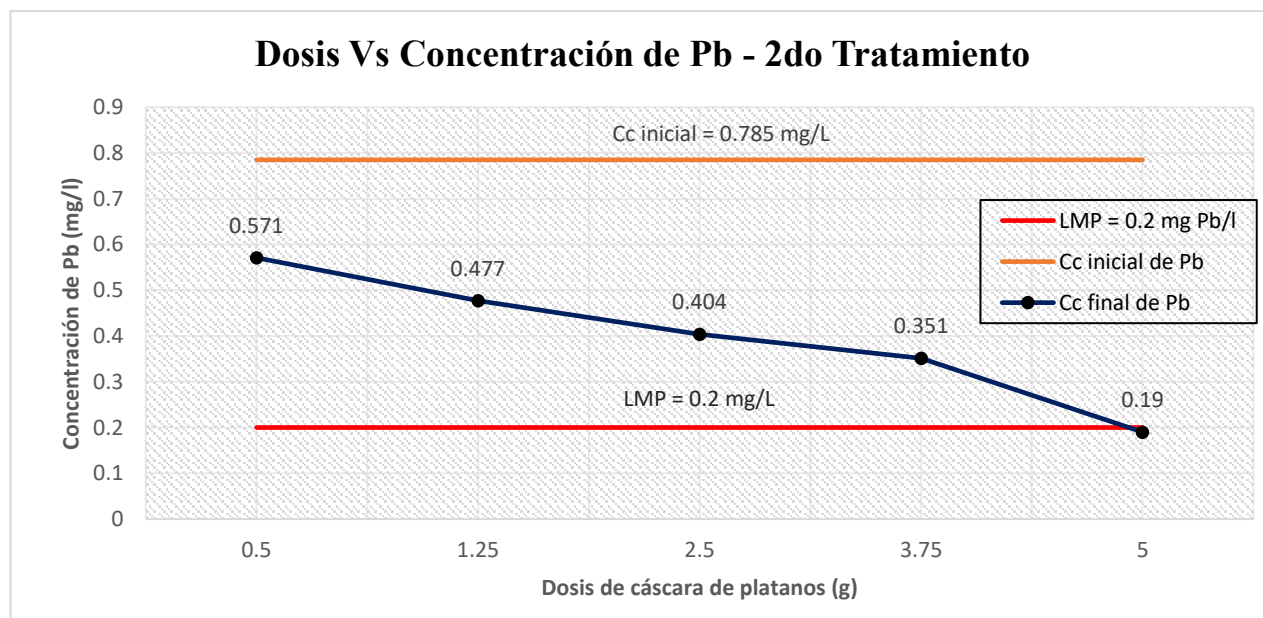
Tabla 6

Resultados del 2 do tratamiento para la remoción de Pb

MUESTRA	Dosificación de la Cáscara de plátano (g)				
Tratamientos	0.5	1.25	2.5	3.75	5
Concentración Inicial Pb (mg/l)	0.785				
pH	2.81	2.77	2.77	3.13	3.31
Concentración Final Pb (mg/l)	0.571	0.477	0.404	0.351	0.190
Repeticiones					
1	0.563	0.476	0.399	0.352	0.183
2	0.579	0.477	0.408	0.349	0.197
PROMEDIO	0.571	0.477	0.404	0.351	0.190
%Eficiencia	27.63	39.61	48.86	55.58	75.92

Figura 11

Remoción de plomo en el 2do tratamiento usando bioadsorbente



Nota. En la figura 11, se puede observar que el bioadsorbente natural en dosis de 0.5g, 1.25g, 2.5g, 3.75g y 5g logró una remoción de plomo (Pb) que varió entre 27.63% y 75.92%. Por lo tanto, la eficiencia máxima obtenida para la remoción de pb fue de 75.92% con una dosis de 5g de cáscara de plátanos (CP), en un tiempo de agitación de 90 minutos, cumpliendo con el LMP establecido en el Decreto Supremo (D.S). N°010-2010-MINAM.

4.2.3. Tercer tratamiento

Seguidamente, se muestran los resultados del ensayo, que inicio con una corrida preliminar y se complementó con una repetición adicional. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes

- Volumen total: 1L por cada muestra de tratamiento
- pH inicial: 2.57
- Concentración de partida de plomo: 0.785 mg/l
- Tiempo: 120 minutos

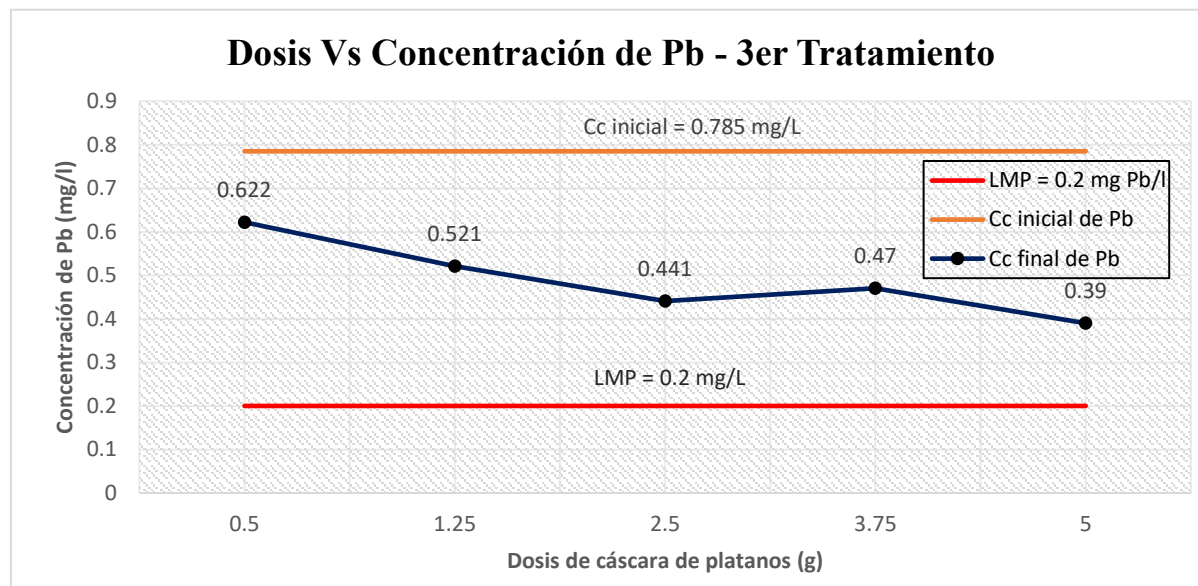
Tabla 7

Resultados del 3er tratamiento para la remoción de plomo

MUESTRA	Dosificación de la Cáscara de plátano (g)				
Tratamientos	0.5	1.25	2.5	3.75	5
Concentración Inicial Pb (mg/l)	0.785				
pH	2.84	2.83	3.07	3.14	3.24
Concentración Final Pb (mg/l)	0.622	0.521	0.441	0.470	0.390
Repeticiones					
1	0.615	0.519	0.425	0.477	0.396
2	0.629	0.523	0.456	0.462	0.383
PROMEDIO	0.622	0.521	0.441	0.470	0.390
%Eficiencia	21.17	33.97	44.17	40.49	50.63

Figura 12

Remoción de plomo en el 3er tratamiento usando bioadsorbente



Nota. En la figura 12, se puede observar que el bioadsorbente natural de 0.5g, 1.25g, 2.5g, 3.75g y 5g alcanzó un porcentaje (%) de remoción de plomo (Pb) de 21.17% a un 50.63%. Por lo tanto, la eficiencia máxima obtenida para la remoción de pb fue de 50.63% con una dosis de 5g de cáscara de plátanos (CP), en un tiempo de agitación de 120 minutos. Sin embargo, no se logró alcanzar el LMP establecido en el Decreto Supremo (D.S). N°010-2010-MINAM.

Respuesta a la hipótesis 2:

De acuerdo con los 3 ensayos, se determinó que la dosis optima fue del bioadsorbente de cáscara de plátano (CP) fue de 5g, logrando remover más del 90% de iones de plomo (Pb) presentes en el agua de la laguna Quiulacochoa.

4.3. Obtención del Tiempo óptimo de agitación en la floculación para la remoción de plomo (Pb)

Se observa que la mayor remoción de plomo (Pb) fue de 0.061mg/l con un tiempo de agitación de 60 minutos, mientras que la menor remoción de iones de plomo (Pb) fue de 0.390 mg/l con un tiempo de agitación de 120 minutos.

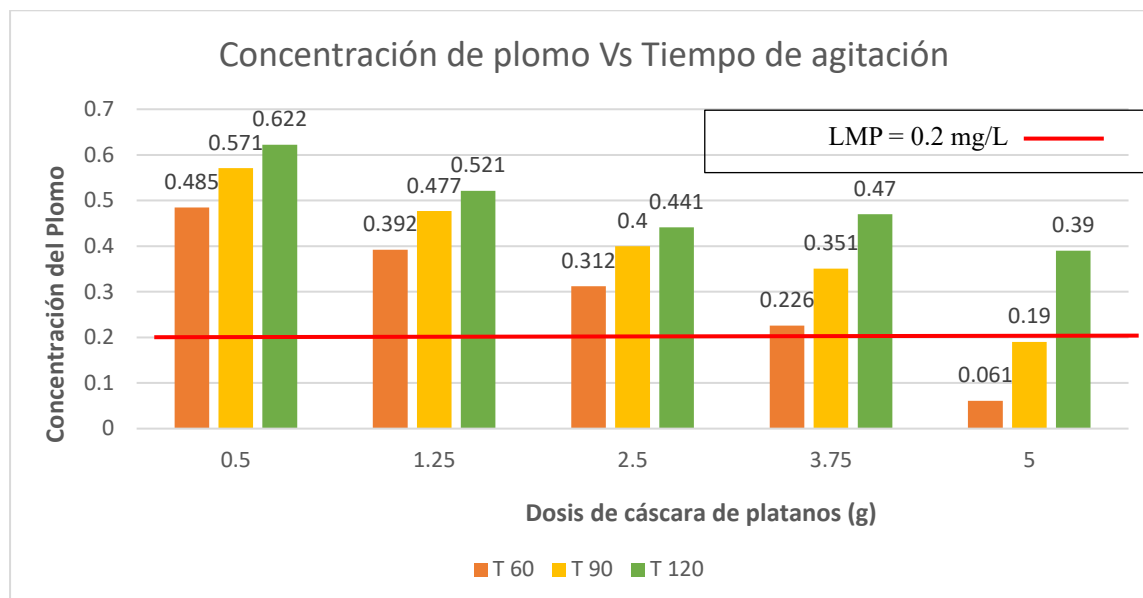
Tabla 8

Resultados del tiempo de agitación óptimo

Muestra	Velocidad de agitación	Tiempo de contacto	Dosis del bioadsorbente	Concentración Final
1	200	60	0.5	0.485
			1.25	0.392
			2.5	0.312
			3.75	0.226
			5	0.061
2	200	90	0.5	0.571
			1.25	0.477
			2.5	0.404
			3.75	0.351
			5	0.190
3	200	120	0.5	0.622
			1.25	0.521
			2.5	0.441
			3.75	0.470
			5	0.390

Figura 13

Efecto del tiempo de agitación en la remoción del plomo



Nota. Luego de efectuadas las pruebas experimentales, se evidenció que pasar 60 minutos de agitación, la cantidad de iones del metal en solución mostró una reducción significativa, llegando a un valor de 0.061 mg/L cuando se aplicó una dosis de 5 gramos del agente floculante de origen natural. A los 90 minutos de floculación, la concentración de iones de plomo (Pb) va reduciéndose, llegando a 0.190 mg/l con la misma dosis. Sin embargo, al pasar 120 minutos de tiempo de agitación, la disminución de concentración de iones de plomo (Pb) es mínima, con un valor de 0.390 mg/l. Este resultado indica que el tiempo de agitación está relacionado inversamente proporcional con la remoción de iones de plomo (Pb). Es decir, se puede afirmar que el tiempo de agitación influye en la remoción de iones de plomo (Pb), ya que, a un mayor tiempo de agitación, los flóculos o cadenas tienden a desintegrarse, lo que reduce su capacidad de remover iones de plomo (Pb).

Respuesta a la hipótesis 3:

De acuerdo con los ensayos efectuados, se identificó en la Tabla 8 que un tiempo de agitación de 60 minutos tuvo un impacto notable en la disminución de la concentración de iones del metal pesado presente en el agua de la laguna Quiulacocha.

4.4. Estrategias innovadoras y sostenibles para la mejorar el tratamiento el agua acida de la laguna Quiulacocha

Tabla 9

Estrategias sostenibles para mejorar el tratamiento de DAM

Tipos de tratamiento	Estrategias
Uso de materiales naturales (Bioadsorción)	<p>Bioadsorbentes: Utilizar materiales orgánicos como residuos agrícolas (cáscaras de frutas, hojas, etc.) o biomasa para adsorber metales pesados y otras sustancias contaminantes en aguas ácidas.</p> <p>Bioremediación: Uso de plantas para eliminar o reducir contaminantes, como metales pesados, en aguas ácidas.</p>
Neutralización química	<p>Uso de cal (cal hidratada o cal viva): La cal es un neutralizante comúnmente utilizado para reducir la acidez de las aguas.</p> <p>Productos alcalinos: La soda cáustica, el carbonato de calcio o el carbonato de sodio también pueden usarse en procesos similares para neutralizar el pH del agua.</p>
Humedales constructivos	<p>Humedales artificiales: Estos sistemas utilizan plantas acuáticas y su sustrato para remover contaminantes del agua. Los humedales son capaces de tratar aguas ácidas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos, mejorando tanto la calidad del agua como los ecosistemas circundantes.</p>
Tratamientos fisicoquímicos avanzados	<p>Filtración y adsorción avanzada: El uso de filtros de carbón activado o resinas de intercambio iónico puede ayudar a eliminar metales pesados y otras sustancias químicas presentes en las aguas ácidas.</p>
Tecnología de tratamiento con microalgas	<p>Uso de microalgas para la remoción de metales: Algunas especies de microalgas tienen la capacidad de absorber y acumular metales pesados de las aguas ácidas, actuando como un filtro biológico. Este enfoque puede ser particularmente útil en lagunas o cuerpos de agua con altos niveles de contaminación.</p>

Respuesta de la hipótesis 4:

De acuerdo con la información recopilada de tratamientos de aguas ácidas, se identificaron diversas técnicas que se aplican actualmente, logrando resultados eficientes en la eliminación de iones de metales pesados, como el plomo (Pb), presente en el agua de la Laguna Quiulacocha. Muchas de estas son estrategias sostenibles e innovadoras que contribuyen al cuidado del medio ambiente.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio se comprobó que la cáscara de plátano (CP) tiene una alta capacidad de remoción de plomo (Pb) en aguas contaminadas, logrando una eficiencia superior al 90 %, lo cual se alinea con diversas investigaciones previas que respaldan su efectividad como bioadsorbente natural.

Según el estudio de Mallqui et al. (2021), el cuyo objetivo fue evaluar la influencia del almidón presente en la cáscara de plátano (CP) en la remoción de cobre (Cu) a través de un proceso experimental. Según sus resultados, alcanzó una remoción del 61.955% de cobre utilizando una concentración de 600 ppm del coagulante natural y un tiempo de floculación de 20 minutos. La investigación sugiere que el tiempo de contacto y la concentración de coagulante juegan un papel crucial en la efectividad del proceso, lo que también fue confirmado por el uso de otras concentraciones (300 ppm, 400 ppm, y 500 ppm), las cuales mostraron resultados menores que a 600 ppm.

En el presente estudio, se decidió aplicar la cáscara de plátano (CP) con el fin de evaluar su capacidad de remover plomo (Pb) de las aguas de la laguna Quiulacocha de la provincia de Pasco. Los resultados fueron notoriamente positivos, ya que se evidenció la remoción de iones de plomo (Pb) superior al 90% respecto a la concentración inicial de 0.785 mg/L. Este alto nivel de remoción sugiere que, al igual que en el estudio de Mallqui et al., el uso de cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente podría ser una solución efectiva para tratar aguas contaminadas con metales pesados, no solo en la remoción de cobre, sino también en la remoción de otros contaminantes como el plomo (Pb). Además, la comparación de los resultados con los obtenidos por Mallqui et al. refuerza la idea de que los parámetros como la concentración o cantidad del coagulante y el tiempo de floculación son factores determinantes en la eficiencia del proceso. Sin embargo, las

diferencias en los metales tratados podrían implicar variaciones en la efectividad del bioadsorbente dependiendo de las características del metal y las condiciones del efluente.

Collantes et al. (2023) indica que los metales pesados están contaminando los lagos y alterando los ecosistemas. Por ello, evaluó la eficiencia del biocarbon de lodo para la remoción de metales pesados como el Zn y Fe de una muestra de agua de la laguna Quiulacocha. Los resultados indicaron una remoción del 75.41 % de zinc (Zn) y del 66.1 % de hierro (Fe), evidenciando que el biocarbono es un material eficaz para eliminar estos metales presentes en las aguas ácidas (AA) de la laguna. En nuestro estudio, se decidió explorar por un tratamiento sostenible utilizando la cáscara de plátanos (CP) como bioadsorbente natural para remoción de plomo (Pb) de la misma laguna. Los resultados son prometedores, ya que alcanzamos una eficiencia de 92.27% en Pb, la cual representa un resultado superior obtenido por Collantes et al. (2023). Este nivel de remoción sugiere que la cáscara de plátanos (CP) pueda ser una opción más efectiva en la eliminación de diversos metales como el caso de plomo (Pb). La comparación de los resultados con los de Collantes et al. (2023). resalta la versatilidad de los bioadsorbentes naturales en el tratamiento de aguas contaminadas (TAC), y refuerza la idea de que el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, como la cáscara de plátano (CP), no solo es una solución ecológica, sino también de bajo costo y accesible.

En el estudio de Johnson et al. (2023) busco eliminar la remoción de elementos tóxicos, específicamente As y Pb, presentes en aguas residuales (AR). Preparando biocarbón de cáscara de plátanos (CP) con nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), nitrato férrico ($\text{Fe}(\text{NO}_2)_3$) y Hidrogenosfosfato de diamonio como adsorbente para la remoción de los metales pesados. Los hallazgos del estudio indicaron una remoción considerable de metales, logrando un 98.7 % de eliminación de arsénico pentavalente (As V) y un 90.3 % de plomo divalente (Pb II). Estos resultados sugieren que la

combinación de biocarbono con aditivos químicos puede ser eficaz en la remoción de metales pesados de aguas residuales. Respecto a la presente investigación, se utilizó únicamente la cáscara de plátano como bioadsorbente sin la adición de reactivos químicos, y los resultados obtenidos fueron igualmente destacables. En particular, se logró una remoción del 92,27% de plomo (Pb) en aguas ácidas, lo que sugiere que la cáscara de plátano (CP) por sí sola tiene un alto potencial como bioadsorbente independiente. Esta información hallada nos muestra que no es necesario el uso de un insumo químico adicional para obtener una remoción eficiente lo que hace que este proceso sea más económico, accesible y ecológico en comparación con el enfoque de Johnson et al. (2023).

Huaranga et al. (2022) analizó la eficiencia de los nanodendrimeros derivados del humus, compost, así como de ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) en estado puro, en la remoción de plomo presente en soluciones contaminadas. (Pb). La concentración de la muestra analizada fue de 200 ppm del elemento metálico, en contraste con un relave minero utilizado como referencia, el cual presentaba un contenido de 3399 ppm del mismo contaminante.

Los resultados mostraron que el ácido húmico puro fue el más eficaz, logrando una remoción del 93,35% de plomo (Pb), seguido por el ácido fúlvico con un 44,85%. En contraste, el humus y el compost demostraron una remoción significativamente menor, con 9,20% y 6,35% de plomo (Pb), respectivamente. A partir de estos hallazgos, el autor recomendó el uso de ácidos orgánicos, como el oxálico o el cítrico, para mejorar la remoción de metales pesados.

En la presente investigación, tomó en cuenta la recomendación, implementando una estrategia alternativa para el tratamiento de efluentes con alta acidez, específicamente provenientes de la laguna Quiulacocha, situada en el distrito de Simón Bolívar, región Pasco. En lugar de utilizar ácidos orgánicos, optamos por usar la cáscara de plátano (CP) como bioadsorbente natural, dado que este material contiene grupos funcionales como hidroxilos y carboxilos, conocidos por su

capacidad para interactuar con metales pesados. Los resultados obtenidos en la investigación fueron altamente positivos, logrando una remoción de plomo (Pb) superior al 90%, lo que demuestra la efectividad de la cáscara de plátano (CP) como una alternativa sostenible y eficiente para la remoción de plomo (Pb) de aguas ácidas (AA).

Este hallazgo es relevante porque, aunque Haranga et al. (2022) sugiere el uso de ácidos orgánicos para mejorar la remoción de plomo (Pb), en el presente estudio se demostró que los materiales naturales, como el bioadsorbente obtenido de la cáscara de plátano (CP), pueden ofrecer un rendimiento igualmente alto. Además, al igual que el autor, se comparte la idea de que es fundamental aprovechar los residuos orgánicos, no solo por su potencial en la remoción de contaminantes, sino también como una estrategia de valorización de residuos que puede contribuir a la sostenibilidad ambiental.

VI. CONCLUSIONES

- ❖ En conclusión, para caracterizar los parámetros fisicoquímicos del Drenaje Acido de Mina de la laguna Quiulacocha, se utilizó el equipo multiparámetro previa calibración. Estos resultados se compararon en relación con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo (D.S). N°010-2010-MINAM. Los resultados evidenciaron el incumplimiento de la normativa ambiental, debido a que diversos parámetros superan los valores máximos permisibles, destacando un pH de 2.57 y una concentración de plomo de 0.785 mg/L.
- ❖ De acuerdo con los ensayos realizados, la concentración de partida de plomo (Pb) fue de 0.785 mg/L. En el primer tratamiento, se obtuvo una eficiencia máxima en la reducción del contenido de plomo del 92.27 %, empleando una dosis óptima de 5 gramos del bioadsorbente obtenido de la cáscara del *Musa paradisiaca* y un tiempo de agitación de 60 minutos, cumpliendo con el Límite Máximo Permisible (LMP) establecido en el Decreto Supremo (D.S). N°010-2010-MINAM. En el segundo tratamiento, con un tiempo de agitación de 90 minutos y usando la misma dosis de 5 g de bioadsorbente se alcanzó una eficiencia de remoción de plomo (Pb) del 75.92 %. Por otro lado, en el tercer tratamiento, la eficiencia de remoción fue de 50.63% con una dosis de 5 g de bioadsorbente y un tiempo de agitación de 120 minutos, no logrando cumplir con la normativa peruana. En conclusión, los ensayos indicaron que la dosis óptima de bioadsorbente para la remoción de plomo (Pb) del drenaje ácido de mina de la laguna Quiulacocha es de 5 g de bioadsorbente.
- ❖ En la obtención del tiempo de agitación optimo, se trabajó con 3 tiempos como 60, 90 y 120 minutos. En el primer tratamiento que fue de 60 minutos de tiempo de agitación

la concentración de iones de plomo (Pb) se redujo considerablemente, alcanzando un valor de 0.061 mg/L al emplear una dosis de 5g de floculante natural. Para el segundo tratamiento de 90 minutos de floculación, la concentración de iones de plomo (Pb) va reduciéndose, llegando a 0.190 mg/L con la misma dosis. Sin embargo, al pasar 120 minutos de tiempo de agitación, la disminución de concentración de iones de plomo (Pb) es mínima, con un valor de 0.390 mg/L. Se puede afirmar que el tiempo de agitación influye en la remoción de iones de plomo (Pb), ya que, a un mayor tiempo de agitación, los flóculos o cadenas tienden a desintegrarse, lo que reduce su capacidad de remover iones de plomo (Pb). Finalmente, se obtuvo que el tiempo de agitación óptimo fue de 60 minutos, Esto se debe a que obtuvo una mayor efectividad en la eliminación de iones de plomo (Pb), reduciéndolos a 0.061 mg/L a partir de una concentración inicial de 0.785 mg/L.

- ❖ Finalmente, se ha propuesto diferentes estrategias para el tratamiento de aguas ácidas (TAA) en laguna con un enfoque multifacético que combine tecnologías de vanguardia con soluciones naturales y sostenibles. Desde el uso de residuos orgánicos como bioadsorbente hasta tratamientos avanzados como fisicoquímicos o los humedales artificiales, estas propuestas pueden ser implementadas en cuerpos de agua como en la laguna de Quiulacocha. Además, estas estrategias contribuyen al cuidado del medio ambiente, reduciendo la contaminación y promoviendo la restauración de los ecosistemas acuáticos.

VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda efectuar un seguimiento constante de las características fisicoquímicas del drenaje ácido generado por actividades mineras (DAM) en la laguna Quiulacocha, aplicando distintas técnicas de tratamiento con el fin de disminuir la carga contaminante y garantizar que los resultados cumplan con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la legislación vigente.
- ❖ Se recomienda explorar las propiedades y evaluar las cáscaras de otras frutas para comprobar su eficacia, así como realizar pruebas con diferentes cantidades de bioadsorbente para alcanzar la remoción de más del 95% en plomo (Pb) u otros metales pesados. Además, se sugiere considerar el uso de floculantes químicos con un bioadsorbente para determinar su viabilidad y evaluar si ofrecen una mayor eficiencia en la remoción del plomo (Pb).
- ❖ Se recomienda continuar investigando y realizar estudios complementarios que permitan ajustar las variables operativas como pH, el tiempo y la velocidad de agitación, con la finalidad de evaluar una mejor eficiencia de los bioadsorbentes naturales en remoción de contaminantes.
- ❖ Finalmente, se sugiere evaluar la viabilidad práctica y los costos asociados con cada tratamiento, así como los desafíos potenciales de su implementación. Estas estrategias no solo ofrecen una solución a la contaminación, sino que también contribuyen un entorno más saludable y equilibrado.

VIII. REFERENCIAS

- Acosta Arguello, H., Barraza Yance, C., & Albis Arrieta, A. (2017). Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 1-15. <https://doi.org/10.14482/inde.35.1.8943>
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina: Generación y tratamiento*. Instituto Geológico y Minero de España.
https://info.igme.es/sidpdf/113000/258/113258_0000001.pdf
- Aduvire, O. (2018). Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas ácidas de mina. *Minería y Medio Ambiente*(5), 1–15. http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/n5/n5_a01.pdf
- Albert, L. (2011). *Curso básico de toxicología ambiental* (2.^a ed. ed.). LIMUSA, S.A.
- Andía Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y floculación*. Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL).
- Arellanes, A., Jaraba, M., Mármol, Z., Páez, G., & Aiello Mazzarri, M. (2008). Obtención y caracterización de pectina de la cascara del cambur manzano (*Musa AAB*). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 25(2), 523–539.
https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre_diciembre2011/v28n4a2011523539.pdf
- Asociación Civil Centro de Cultura Popular Labor & Municipalidad Distrital de Simón Bolívar. (2018). *Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en Pasco: Análisis ambiental de la calidad de los recursos hídricos en la zona minera de Cerro de Pasco y biomonitoreo de metales en niños y niñas del centro poblado de Paragsha*. Source International Italia.

<https://lultimareina.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/11/estudios-en-poblaciones-afectadas-por-metales-pesados.pdf>

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Autoridad Nacional del Agua.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/656307/60190132695140460020200426-24009-15lpuxo.pdf>

Caballero Alvarado, V. M. (2014). Evaluación de la cáscara de banano (*Musa AAA*) variedad Williams para remoción de arsénico en agua para consumo humano. *Agua, Saneamiento y Ambiente*, 9(1).

<https://doi.org/10.36829/08ASA.v9i1.1468>

Carhuaz Silvestre, D. W. (2022). *Tratamiento de aguas ácidas del pasivo ambiental minero Quiulacocha, mediante neutralización del pH, Pasco – Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2617>

Collantes Esquivas, C. R., Llerena Huapaya, O. N., & Olazabal Espinoza, M. A. (2023). *Biocarbón de lodo de PTAR para la reducción de zinc y hierro de las aguas ácidas de la laguna Quiulacocha, Pasco, 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Callao.

<https://repositorio.unac.edu.pe/item/b0e0bcd6-5002-4cec-b483-279582452a3f>

- Faraquita Adco, L. D. (2025). Efecto del coagulante de cáscara de plátano sobre los parámetros fisicoquímicos del agua del río Caplina. *Ciencia y Educación*, 6(7.1).
doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.16413353>
- Gomez Murillo, A. A. (2020). *Remoción de metales pesados de las aguas del Río Santa en el tramo Recuay–Ticapampa mediante biofiltro con cáscara de plátano*. [Tesis de pregrado, Universidad San Pedro]. Repositorio Institucional de la Universidad San Pedro:
<http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/20.500.129076/20642>
- Gómez-Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed. ed.). McGraw-Hill Education.
- Huaranga Moreno, F., Arteaga Núñez, J. R., & Huaranga Arévalo, F. (2022). Selective removal of lead present in tailings using nanodendrimers of humus, compost, humic acids and fulvic acids pure. *Arnaldoa*, 29(3), 439-450.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v29n3/2413-3299-arnal-29-03-439.pdf>
- Johnson, V., Liao, Q., Jallawide Jr., B., Anaman, R., Amanze, C., Huang, P., . . . 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.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131115>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (s.f.). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y*

Agroindustrial, 14(2), 145–153.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200017

López Hernández , M., & Lacayo Romero, M. (2020). Remoción de cromo hexavalente en aguas contaminadas utilizando cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) como adsorbente. *Revista Torreón*, 8(23), 73-83. <https://doi.org/10.5377/torreon.v8i23.9534>

Maheshwari, U., Thakur, R., Deshpande, D., & Ghodke, S. (2023). Efficiency evaluation of orange and banana peels for dye removal from synthetic industrial effluent. *Materials Today: Proceedings*, 76, 170-176.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.023>

Mallqui Gutierrez, M. A., & Romero Quispe, S. (2021). *Remoción de iones cobre de aguas residuales mineras utilizando el almidón de la cáscara de plátano*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.

<https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Author/Home?author=Mallqui+Gutierrez%2C+Mirco+Albino>

Méndez Cantillo, N., Rodríguez Díaz, Y., & Rodríguez Jiménez, D. M. (Dec de 2022). Análisis del plátano y banano (*Musa paradisiaca L.*) como coagulante para el tratamiento de afluentes. *Información Tecnológica*, 33(6), 125–134.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642022000600125&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Ministerio de Salud (MINSA). (2007). *Guía técnica: Guía de práctica clínica para el manejo de pacientes con intoxicación por plomo*. Obtenido de Gobierno del Perú:

<https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/352832-guia-tecnica-guia-de-practica-clinica-para-el-manejo-de-pacientes-con-intoxicacion-por-plomo>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014). *Perfil toxicológico de plomo (Pb), número CAS 7439-92-1*. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA):

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-arequipa/archivos/public/docs/163.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2010). *Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM, que aprueba los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas*.

<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/317458-010-2010-minam>

Mpagi Kalibbala , H., Wilberforce Olupot, P., & Maxwell Ambani , O. (March de 2023).

Synthesis and efficacy of cactus-banana peels composite as a natural coagulant for water treatment. *Results in Engineering*, 17, 100945.

<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100945>

Rodriguez Venturo, S., Herrera Quiñonez, J., Reyes Moreno, C. B., & Antezana Mejía, J.

(Septiembre de 2023). Caracterización de consorcios microbianos lixiviantes de sulfuro de cobre aislados de drenajes ácidos de minas altoandinas. *Revista Peruana de Biología*, 30(3).

<https://doi.org/10.15381/rpb.v30i3.25317>

Rojas Ponte, D. A., & Tiburcio Naves, R. C. (2022). *Eficacia de la cáscara de plátano*

pulverizado en la remoción de metales pesados en agua de la relavera Santa Catalina.

[Tesis pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112514>

Vásquez, R., Ruesga, L., D'Addosio, R., Páez, G., & Marín, M. (2008). Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB, subgrupo plátano*) clon Hartón. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 25(2).

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182008000200008

Vejarano, R., Gurreonero Fernandez, J., & Castillo Herrera, A. (2018). Adsorción de plomo (Pb) de aguas contaminadas mediante cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). *Proceedings of the 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology (LACCEI 2018)*.

https://www.laccei.org/LACCEI2018-Lima/full_papers/FP67.pdf

Villantoy Gómez, A. (20 de Junio de 2024). La mina a tajo abierto de Cerro de Pasco: El lugar donde el plomo en la sangre de los niños supera 43 veces el límite saludable. *Infobae*.
<https://www.infobae.com/peru/2024/06/20/la-mina-a-tajo-abierto-de-cerro-de-pasco-el-lugar-donde-el-plomo-en-la-sangre-de-los-ninos-supera-43-veces-el-limite-saludable/>

Vizarreta Luna, G. A. (2021). *Evaluación de riesgo tóxico y ecotoxicológico de la laguna Quiulacocha en el distrito Simón Bolívar, departamento de Pasco, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/a6ce9093-dbb5-4a8f-98fc-7e014fbfa8e4>

Waldick, L. (2003). *Minería, contaminación y salud en Ecuador: Poblados mineros aprovechan investigación para mejorar la salud humana*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC).

<https://hdl-bnc-idrc.dspace.org/items/7269129a-b106-458c-9204-fb316375d45a>

Wattanakornsiri, A., Pitchayanin, R., Sanmueng, T., Satchawan, S., & Jamnongkan, T. (2022).

Local fruit peel biosorbents for lead(II) and cadmium(II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study. *South African Journal of Chemical Engineering*, 42, 306–317.

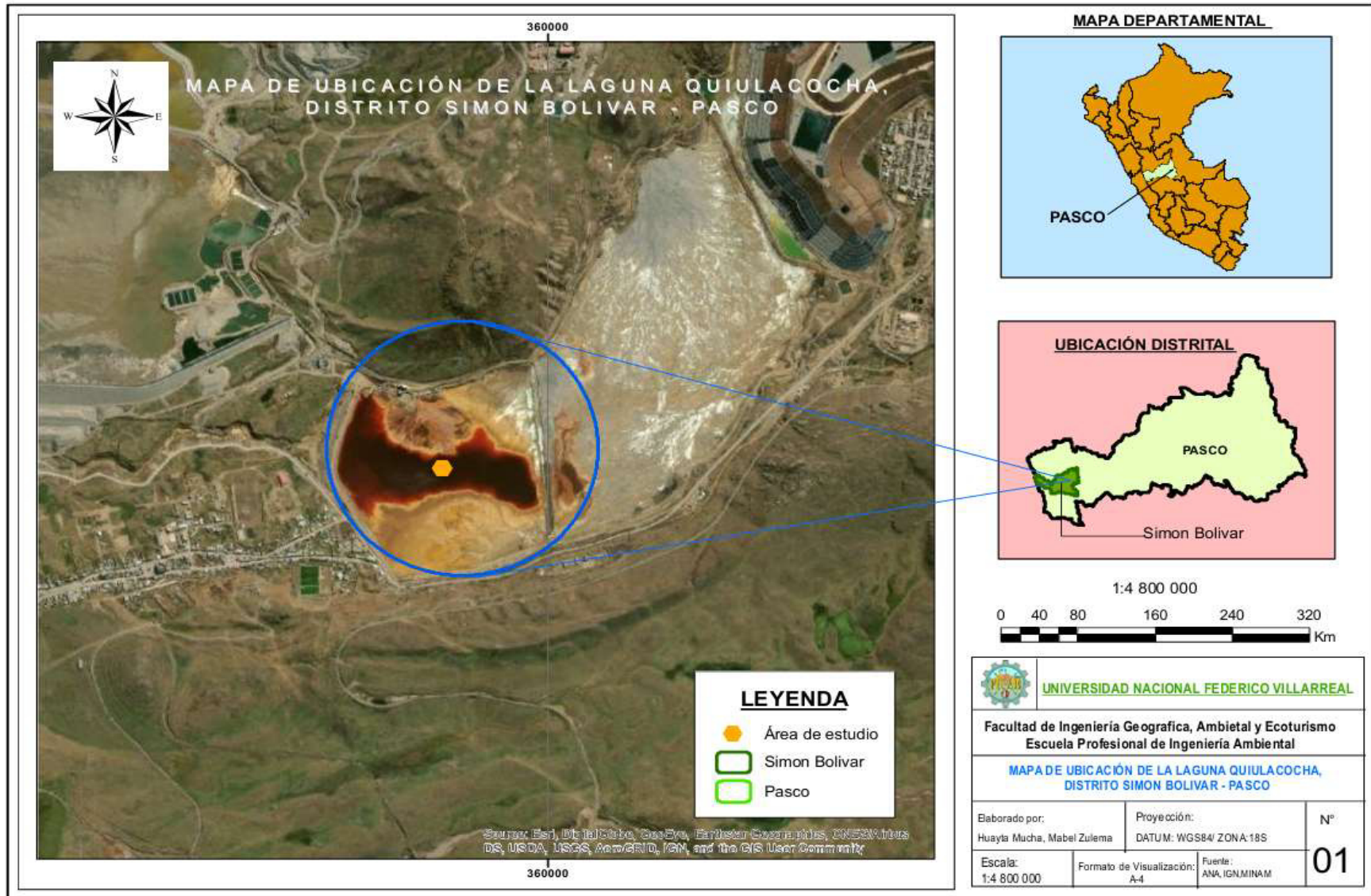
<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.008>

IX. ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tipo	Problema	Objetivo	Hipótesis	Tipo	Dimensiones	Variables	Indicador
General	¿Cuál es la eficiencia de bioadsorción de la cáscara de plátano para la remoción de Plomo de la laguna Quiulacocha, 2024?	Evaluar la eficiencia de la cáscara de plátano como bioadsorbente para la remoción de plomo en aguas ácidas de la Laguna de Quiulacocha, 2024.	La cáscara de plátanos es eficiente como bioadsorbente para la remoción de plomo en aguas ácidas de laguna de Quiulacocha, 2024.	Independiente	Cáscara de plátanos	Dosis	mg/L
						Tiempo	Minutos
Específicos	¿Cómo están los niveles de los parámetros fisicoquímicos de las aguas ácidas de la laguna de Quiulacocha, 2024?	Determinar los niveles de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua de la laguna Quiulacocha y si estos cumplen con los LMP (Límites Máximo Permisible) según la normativa del Perú	Las características fisicoquímicas de las aguas ácidas están fuera de los Límites máximos permisibles acorde a la normativa peruana.	Dependiente	Parámetros fisicoquímicos	pH	Unidad de pH
						Temperatura	°C
						Conductibilidad eléctrica	µS/cm
	¿Cuál es la dosis optima de cáscara de plátano como bioadsorbente para la remoción de plomo de aguas ácidas de la laguna de Quiulacocha, 2024?	Determinar la dosis optima de cáscara de plátano como bioadsorbente para la remoción de plomo en aguas ácidas de la laguna Quiulacocha.	La dosis optima de cáscara de plátano como bioadsorbente remueve la concentración de plomo en aguas ácidas de la laguna Quiulacocha.		Agua ácida (Plomo)	Concentración Inicial	mg/L
						¿Cuál es tiempo de contacto optimo en la cáscara de plátano como bioadsorbente en la remoción de plomo de las aguas ácidas de la laguna de Quiulacocha, 2024?	Obtener el tiempo de contacto optimo de la cáscara de plátano como bioadsorbente para la remoción de plomo en aguas ácidas de la laguna Quiulacocha
¿Cuáles son las estrategias innovadoras y sostenibles que lograran mejorar el tratamiento el agua acida de la laguna Quiulacocha?	Proponer estrategias innovadoras y sostenibles para la mejorar el tratamiento el agua acida de la laguna Quiulacocha	La implementación de estrategias innovadoras y sostenibles para el tratamiento del agua ácida logrará una remoción significativa de plomo en la laguna Quiulacocha		Eficiencia	%		

ANEXO B: MAPA DE UBICACIÓN DE LA LAGUNA QUIULACOCHA



ANEXO C: PANEL FOTOGRÁFICO



Reconocimiento del área de estudio:
Vista panorámica de la laguna Quiulacochoa, identificando las condiciones del entorno y accesos para la toma de muestras.



Medición de parámetros fisicoquímicos:
Registro in situ de pH, temperatura y conductividad del agua mediante equipo multiparámetro.



Recolección de muestras: Captura y almacenamiento de muestras de agua ácida en contenedores rotulados, siguiendo el protocolo de muestreo.



Caracterización visual de la laguna:
Observación de coloración superficial y presencia de residuos minerales en el cuerpo de agua.



Lavado de la cáscara de plátano: Limpieza del bioadsorbente con agua destilada para eliminar impurezas antes del proceso de secado.



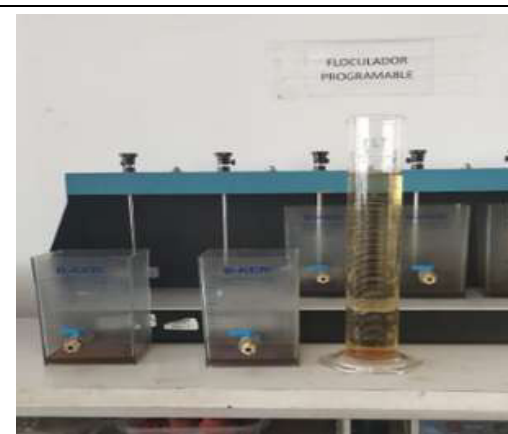
Secado de la cáscara de plátano:
La cáscara fue colocada en el horno durante 3 horas a 70 °C para eliminar la humedad.



Triturado de la cáscara seca: Una vez seca, la cáscara fue triturada hasta obtener un polvo fino, incrementando su superficie de contacto.



Pesado del bioadsorbente: El polvo obtenido fue pesado para su uso en las pruebas experimentales de remoción de plomo (Pb).



Ensayo en floculador programable: Preparación de soluciones y evaluación de la eficiencia de remoción de plomo mediante pruebas de jarras



Registro de datos en laboratorio: Verificación y anotación de la información correspondiente a las muestras de agua en el formato "Datos del laboratorio".



Preparación de muestras digestadas: Las muestras son sometidas al proceso de digestión y posteriormente acondicionadas para su análisis instrumental.



Análisis mediante espectrofotometría: Empleo del espectrofotómetro para la determinación de la concentración de plomo (Pb) en las muestras tratadas.

ANEXO D: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS											
Departamento:		Pasco			Provincia:		Simón Bolívar.				
Responsable del registro:		Mabel Huayta Mucha									
Números de puntos	Descripción de origen	Coordenadas		Altitud m.s.n.m	Fecha	Hora	pH	Concentración del Pb mg/L	Conductividad Eléctrica µS/cm	Temperatura °C	Observaciones
		Norte/ Sur	Este/ Oeste								
1	Simón Bolívar - Pasco	360023	816605	4301.5	28.09.24	10:55 am	2,57	0,785	6051	10.4	-
2	Simón Bolívar Pasco	360004	8816601	4300.8	28.09.24	11:02 am	2,55	0,785	6055	10.4	-
3	Simón Bolívar Pasco	359999	88166605	4298.5	28.09.24	11:06 am	2,58	0,785	6052	10.4	-
4	Simón Bolívar Pasco	359999	881659.3	4300.4	28.09.24	11:10 am	2,57	0,786	6058	10.4	-


 M. Brindley Valderrama D.
 CIP: 160959

















 M. Anibal Vozquez D.
 CIP: 92509


 M. José Félix Arias R.
 61263

ANEXO E: DATOS DE LABORATORIO – PRUEBA DE JARRAS

DATOS DE LABORATORIO – PRUEBA DE JARRAS

Nombre del bioadsorbente: Cáscara de plátanosResponsable del registro: Mabel Huayta Mucha

CORRIDA N° 1					
					
Tiempo (min)	60	60	60	60	60
Dosis (gramos)	0.5	1.25	2.5	3.75	5
Velocidad de agitación (RPM)	200	200	200	200	200
Volumen (l)	1	1	1	1	1
Concentración	0.496	0.381	0.321	0.212	0.058
CORRIDA N° 2					
					
Tiempo (min)	90	90	90	90	90
Dosis (gramos)	0.5	1.25	2.5	3.75	5
Velocidad de agitación (RPM)	200	200	200	200	200
Volumen (l)	1	1	1	1	1
Concentración	0.563	0.476	0.399	0.352	0.183
CORRIDA N° 3					
					
Tiempo (min)	120	120	120	120	120
Dosis (gramos)	0,5	1,25	2,5	3,75	5
Velocidad de agitación (RPM)	200	200	200	200	200
Volumen (l)	1	1	1	1	1
Concentración	0.615	0.519	0.425	0.477	0.396



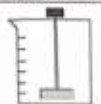

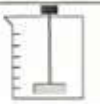










Mj. Braulio N. Valdivia O.
CIR: 160959

Mj. Anabel Vosquez A. M.
CIP: 92504

Mabel Huayta Mucha
CIR: 161263

DATOS DE LABORATORIO - PRUEBA DE JARRAS

Nombre del bioadsorbente: Cáscara de plátanosResponsable del registro: Mabel Huayta Mucha

CORRIDA N° 1					
					
Tiempo (min)	60	60	60	60	60
Dosis (gramos)	0,5	1,25	2,5	3,75	5
Velocidad de agitación (RPM)	200	200	200	200	200
Volumen (l)	1	1	1	1	1
Concentración	0.483	0.403	0.303	0.239	0.064
CORRIDA N° 2					
					
Tiempo (min)	90	90	90	90	90
Dosis (gramos)	0,5	1,25	2,5	3,75	5
Velocidad de agitación (RPM)	200	200	200	200	200
Volumen (l)	1	1	1	1	1
Concentración	0.579	0.477	0.408	0.349	0.197
CORRIDA N° 3					
					
Tiempo (min)	120	120	120	120	120
Dosis (gramos)	0,5	1,25	2,5	3,75	5
Velocidad de agitación (RPM)	200	200	200	200	200
Volumen (l)	1	1	1	1	1
Concentración	0.629	0.523	0.456	0.462	0.383

Mg. Bravio Remando Valdivia O
CIP: 160959

Mg. Alvarado Vos Oves 2 D.
CIP: 92504

Mg. José Félix Alvarado P.
CIP 61263