

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE**  
**RECURSOS NATURALES**



**“CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN CON CÁSCARA DE LIMÓN  
SUTIL (*Citrus aurantifolia*) PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN  
AGUAS SINTÉTICAS A NIVEL PILOTO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

**AUTORES:**

**PEREZ APARICIO, MANUEL ALEXANDER**

**HUAMAN SOTELO, JAHIR WALTER**

**ASESOR: ALEX WILLY PILCO NUÑEZ**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**Callao, 2023**

**PERÚ**





**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**  
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



VI CICLO TALLER DE TESIS

**ANEXO 3**

**ACTA N° 011-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

**LIBRO 01 FOLIO No. 115 ACTA N°011-2023 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.**

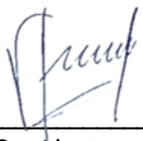
A los 1 días del mes de octubre del año 2023, siendo las 10:07 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/fyg-foyt-xpc>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la **Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales**, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

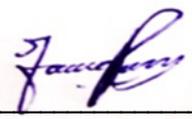
<b>Dr.</b>	<b>Eduardo Valdemar Trujillo Flores</b>	<b>: Presidente</b>
<b>Mtro.</b>	<b>Carlos Odorico Tome Ramos</b>	<b>: Secretario</b>
<b>MsC.</b>	<b>María Antonieta Gutiérrez Díaz</b>	<b>: Vocal</b>
<b>Mg.</b>	<b>Luís Enrique Lozano Vieytes</b>	<b>: Suplente</b>
<b>Mg.</b>	<b>Alex Willy Pilco Niñez</b>	<b>: Asesor</b>

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Manuel Alexander Perez Aparicio y Jahir Walter Huaman Sotelo, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **“CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN CON CÁSCARA DE LIMÓN SUTIL (*Citrus aurantifolia*) PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUAS SINTÉTICAS A NIVEL PILOTO”**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprobado con la escala de calificación cualitativa Muy Bueno y calificación cuantitativa Diecisiete (17) la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las 10:43 horas del día domingo 1 de octubre del año en curso.

  
\_\_\_\_\_  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
**Secretario**

  
\_\_\_\_\_  
**Vocal**

  
\_\_\_\_\_  
**Asesor**

## Document Information

Analyzed document	1A; HUAMAN SOTELO; Jahir Walter_PEREZ APARICIO; Manuel Alexander_IF TESIS.pdf (D174132150)
Submitted	2023-09-19 01:15:00
Submitted by	
Submitter email	fiarn.investigacion@unac.edu.pe
Similarity	21%
Analysis address	unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>TESIS HERBERTH CRHISTIAN NINAHUANCA 1 (1).docx</b> Document TESIS HERBERTH CRHISTIAN NINAHUANCA 1 (1).docx (D124077248)		1
<b>SA</b>	<b>TESIS MARIA PIA ESPINOZA VELASCO.docx</b> Document TESIS MARIA PIA ESPINOZA VELASCO.docx (D110034364)		3
<b>SA</b>	<b>Velasquez_R_T3.docx</b> Document Velasquez_R_T3.docx (D110215145)		1
<b>SA</b>	<b>URKUN BASTIDAS SAGUAY.docx</b> Document URKUN BASTIDAS SAGUAY.docx (D133388699)		1
<b>SA</b>	<b>1A CASAS CHAMPI ROLANDO JULIAN TITULO PROFESIONAL 2020.docx</b> Document 1A CASAS CHAMPI ROLANDO JULIAN TITULO PROFESIONAL 2020.docx (D151887736)		7
<b>SA</b>	<b>URKUND Evaluación de la cáscara de piña(ananas comossu) deshidratada, como biosor bente de metales pesados en aguas residuales sintéticas.pdf</b> Document URKUND Evaluación de la cáscara de piña(ananas comossu) deshidratada, como biosor bente de metales pesados en aguas residuales sintéticas.pdf (D48509426)		4
<b>SA</b>	<b>1A_Atauje_Gonzales_Irma_Título_Profesional_2022.docx</b> Document 1A_Atauje_Gonzales_Irma_Título_Profesional_2022.docx (D143947515)		1
<b>SA</b>	<b>tesis paola rios.docx</b> Document tesis paola rios.docx (D11962601)		2
<b>SA</b>	<b>Universidad Nacional del Callao / TESIS - BIOADSORCION 2022 FINAL SEJJE ANYOSA. sustentacion.pdf</b> Document TESIS - BIOADSORCION 2022 FINAL SEJJE ANYOSA. sustentacion.pdf (D149175626) Submitted by: fiq.posgrado@unac.edu.pe Receiver: fiq.posgrado.unac@analysis.arkund.com		6
<b>SA</b>	<b>TESIS Final Final - copia (3).pdf</b> Document TESIS Final Final - copia (3).pdf (D48360196)		1

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD**

INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

### **TÍTULO**

CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN CON CÁSCARA DE LIMÓN SUTIL (*Citrus aurantifolia*) PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUAS SINTÉTICAS A NIVEL PILOTO

### **AUTOR / CÓDIGO ORCID / DNI**

MANUEL ALEXANDER PEREZ APARICIO

CÓDIGO ORCID: 0009-0009-7865-1974, DNI: 61787897

JAHIR WALTER HUAMAN SOTELO

CÓDIGO ORCID: 0009-0000-4514-1147, DNI: 70364761

### **ASESOR / CÓDIGO ORCID / DNI**

ALEX WILLY PILCO NUÑEZ / 0000-0002-3911-6428 / 10291118

### **LUGAR DE EJECUCIÓN**

LABORATORIO DE LA EMPRESA SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES S.A.C

### **UNIDAD DE ANÁLISIS**

CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN CON CÁSCARA DE LIMÓN SUTIL (*Citrus aurantifolia*)

### **TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

APLICADA / CUANTITATIVO / EXPERIMENTAL

### **TEMA OCDE**

1.05.08 CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

## **DEDICATORIA**

A mis padres Manuel y Nelly, que me formaron con reglas y libertades, siempre motivándome a cumplir mis anhelos; a mis hermanas Kathy y Fabi, que siempre han sido un ejemplo de superación y persistencia para mí.

A Brenda, que gracias a su amistad he podido sobrellevar en familia la universidad

A Reina, Pancha y Llave en el cielo.

**Manuel P. A.**

La presente tesis está dedicada a mi padre Cirilo, a mi madre Susy y a mis hermanas Selene y Katiuzca; por tantos años de apoyo y dedicación, sin ellos nunca podríamos haber llegado hasta aquí, ya que, con su motivación, fueron el motor que hizo posible el desarrollo de la investigación.

**Jahir H.S.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios, por permitirnos cumplir con cada meta trazada, por darnos la sapiencia de sortear los obstáculos impuestos en nuestro camino.

Para quien estuvo pendiente de nuestra investigación y de todo cuanto se pudiera necesitar, gracias M.Sc. Ing. Alex Pilco por sus sugerencias y críticas que sin duda contribuyeron a enriquecer esta tesis.

A Brenda Perez, Kevin Lavado y Luis Torres, que durante todo este tiempo nos han apoyado siempre, sepan que, sin ustedes, sin el apoyo recibido en los peores momentos, seguro no se hubiera podido terminar.

Finalmente, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos aquellos que, de una forma u otra, han hecho posible la realización de esta tesis.

## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la realidad problemática .....	2
1.2. Formulación del problema .....	3
1.2.1. Problema general .....	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación .....	4
1.4.1. Justificación social .....	4
1.4.2. Justificación Ambiental .....	4
1.4.3. Justificación Económica .....	5
1.5. Delimitantes de la investigación.....	5
1.5.1. Delimitante teórica .....	5
1.5.2. Delimitante espacial.....	5
1.5.3. Delimitante Temporal.....	5

II. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes .....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.2. Base Teórica.....	10
2.2.1. La bioadsorción .....	10
2.2.1.1. Factores de la bioadsorción.....	11
2.2.1.2. Bioadsorción de Metales Pesados .....	12
2.2.2. Bioadsorción por Pectinas .....	14
2.2.2.1. Propiedades Fisicoquímicas de las pectinas .....	14
2.2.3. Metales pesados.....	15
2.2.3.1. Generación de metales. ....	16
2.2.3.2. Efectos de la salud en el medio ambiente. ....	16
2.2.4. Parámetro de Calidad de las Aguas .....	17
2.3. Conceptual.....	18
2.3.1. Capacidad de bioadsorción .....	18
2.3.2. Remoción de plomo.....	18
2.4. Definición de términos básicos .....	19
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	22
3.1. Hipótesis .....	22
Hipótesis General .....	22
Hipótesis Específicas .....	22
3.1.1. Operacionalización de las variables .....	22
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	24
4.1. Diseño de la investigación .....	24

4.2.	Método de investigación .....	24
4.2.1.	Procedimiento experimental .....	24
4.3.	Población y muestra .....	32
4.3.1.	Población .....	32
4.3.2.	Muestra.....	32
4.4.	Lugar de estudio .....	33
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	33
4.6.	Análisis y procesamiento de datos .....	35
4.7.	Aspectos éticos en investigación .....	36
V.	RESULTADOS.....	37
5.1.	Resultados descriptivos.....	37
5.1.1.	Resultados experimentales del tratamiento de agitación manual	37
5.2.	Resultados Inferenciales.....	40
5.2.1.	Análisis de la Normalidad .....	40
5.2.2.	Análisis de la homogeneidad de varianza .....	42
5.2.3.	ANOVA de la remoción de plomo .....	42
5.2.4.	Ajustes de los diseños factoriales.....	45
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	46
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	46
6.1.1.	Contrastación con la hipótesis general .....	46
6.1.2.	Contrastación con la hipótesis específica 1 .....	46
6.1.3.	Contrastación con la hipótesis específica 2 .....	47
6.1.4.	Contrastación con la hipótesis específica 3.....	47
6.2.	Contrastación de los resultados con estudios similares.....	47
6.3.	Responsabilidad ética.....	48

VII.	CONCLUSIONES.....	50
VIII.	RECOMENDACIONES .....	51
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	52
	ANEXOS .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Matriz de operacionalización de variables</i> .....	23
Tabla 2. <i>Matriz experimental para la remoción de Plomo</i> .....	30
Tabla 3. <i>Resultados de la matriz experimentales de los diferentes tratamientos factoriales</i> .....	37
Tabla 4. <i>Resultado descriptivos de la remoción de Plomo</i> .....	38
Tabla 5. <i>Resultado descriptivo de la remoción de Plomo en función del indicador Masa</i> .....	38
Tabla 6. <i>Resultado descriptivo de la remoción de Plomo en función del tipo reticulado y sin reticular</i> .....	38
Tabla 7. <i>Resultado descriptivo de la remoción de Plomo en función del tiempo de adsorción</i> .....	39
Tabla 8. <i>Matriz ANOVA de la remoción de plomo</i> .....	44
Tabla 9. <i>Indicadores de ajuste del diseño factorial del experimento</i> .....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos de plomo en la celulosa .....	13
Figura 2. Bioadsorción de metales pesados .....	14
Figura 3. Flujograma de preparación del bioadsorbente.....	25
Figura 4. Troceado de la cáscara de limón sutil (Citrus aurantifolia).....	26
Figura 5. Secado de la cáscara de limón sutil (Citrus aurantifolia) en la estufa	27
Figura 6. Molienda de la cáscara de limón sutil (Citrus aurantifolia) .....	27
Figura 7. Tamizado de la cáscara de limón sutil (Citrus aurantifolia) .....	28
Figura 8. Secado de cáscara desmetoxilizada em estufa a 40 °C .....	29
Figura 9. Secado de cáscara desmetoxilizada em estufa a 40 °C .....	29
Figura 10. Efectos de los diferentes indicadores de estudio sobre el % de remoción de Plomo .....	39
Figura 11. Efectos de la interacción de los indicadores de estudio sobre el % de remoción de Plomo .....	40
Figura 12. Histograma y la normalidad .....	41
Figura 13. Prueba de normalidad.....	41
Figura 14. Prueba de homogeneidad de varianza .....	42

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**ANA:** Autoridad Nacional del Agua

**ASTM:** Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

**ECA:** Estándares de Calidad Ambiental

**FIARN:** Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales

**MINAM:** Ministerio del ambiente

**PH:** Potencial de hidrogeno

**PPM:** Partes por millón

**UNAC:** Universidad Nacional del Callao

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la capacidad de bioadsorción de las cáscaras de Limón para la remoción de plomo en aguas sintéticas, con el fin de reaprovechar este residuo orgánico en el tratamiento de aguas residuales. La metodología empleada en la investigación fue de tipo aplicado, enfoque cuantitativo, se elaboró aguas sintéticas con Nitrato de Plomo ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) a 20 ppm, se realizó un diseño factorial fraccionado de arreglo  $2^{3-1}$  con una (3) réplica y dos (2) puntos centrales, obteniéndose 14 tratamientos. Los indicadores estudiados fueron son: A- tipo de activación de la cáscara de Limón sutil (sin reticulación y con reticulación); B-Masa de la cáscara de Limón (5 -15 g); C-Tiempo de contacto (1 – 3h). Los resultados mostraron que la bioadsorción de Plomo con cáscara de limón presentó una media de 85.94% de remoción, asimismo, se obtuvo como máximo porcentaje de bioadsorción plomo 98.35%, empleando cáscara de limón sutil reticulada, 15g/L y 3 horas de tiempo de contacto. También se demostró que la capacidad de bioadsorción con cáscaras de limón influye significativamente en la remoción de plomo en aguas sintéticas, mediante la prueba estadística de ANOVA, con una contribución del 83.21%, con un valor  $p=0.006<0.05$ . Se concluye que la cascara de Limón es una buena alternativa para la bioadsorción de Plomo y su uso genera un reaprovechamiento de este residuo.

**Palabras clave:** bioadsorción, cáscara de limón, aguas sintéticas, remoción de plomo

## ABSTRACT

The present study aimed to determine the bioadsorption capacity of lemon peels for the removal of lead in synthetic waters, with the purpose of reutilizing this organic waste in wastewater treatment. The research methodology used was applied in nature with a quantitative approach. Synthetic waters were prepared with Lead Nitrate ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) at 20 ppm, and a fractional factorial design of 23-1 with three (3) replicates and two (2) central points was employed, resulting in 14 treatments. The studied indicators were: A - type of lemon peel activation (without cross-linking and with cross-linking); B - Mass of lemon peel (5-15 g); C - Contact time (1-3h). The results showed that lead bioadsorption with lemon peel had an average removal of 85.94%, and the maximum lead bioadsorption percentage obtained was 98.35% using cross-linked lemon peel, 15g/L, and 3 hours of contact time. It was also demonstrated that the bioadsorption capacity with lemon peels significantly influences the removal of lead in synthetic waters through the ANOVA statistical test, with a contribution of 83.21%, with a p-value of  $0.006 < 0.05$ . In conclusion, lemon peel is a good alternative for lead bioadsorption, and its use promotes the reuse of this waste material.

**Keywords:** bioadsorption, lemon peels, synthetic water, lead removal.

## INTRODUCCIÓN

Son las operaciones de tratamiento de aguas residuales que llaman la atención en los estudios de pregrado y en especial el uso de los bioadsorbentes en la remoción de metales pesados en aguas residuales. En este trabajo de investigación se consideró preparó en el laboratorio la mezcla de agua con plomo, al que se le denominó agua sintética.

Se compararon la capacidad de remoción de plomo por adsorción de las biomásas de cáscara de naranja y zuro de maíz (Tejada et al., 2016), y se estudió la bioadsorción como tecnología alterna y de bajo costo para el tratamiento de efluentes de laboratorio, contaminados con metales pesados, utilizando la cáscara de naranja como material bioadsorbente (Salas et al., 2017). Estos estudios fueron la sugestión principal para la propuesta y ejecución del presente trabajo de investigación.

Dado qué, la cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) contiene en su composición pectinas, estos ayudan a la adhesión de los iones metálicos a su superficie, por lo que es favorable a la bioadsorción. Para este trabajo de investigación se propuso el estudio de la remoción de plomo de aguas sintéticas, utilizando como bioadsorbente la cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*)

Este trabajo de investigación presenta en el Capítulo I la descripción problemática de la contaminación del agua por la presencia de plomo, en el Capítulo II se presenta las bases teóricas y conceptuales sobre la bioadsorción, el Capítulo III presenta las variables “capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*)” y “remoción de plomo”, el Capítulo IV desarrolla el diseño y proceso experimental, el capítulo V muestra los resultados y su estadística empleando el análisis de la varianza (ANOVA) mediante el software MINITAB, el Capítulo VI muestra la prueba de hipótesis y discute los resultados con los autores citados en los antecedentes del trabajo de investigación.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción de la realidad problemática

Con el avance rápido de la industria moderna, se ha observado un aumento significativo en la descarga de aguas residuales que contienen metales pesados al medio ambiente, lo cual se ha convertido en una de las principales fuentes de contaminación del agua (Gao, et al. 2010). Dentro de todos los metales contaminantes, el plomo destaca por su alta toxicidad y representa una grave amenaza para la salud humana (Ledingham, et al. 2022). Se ha comprobado que la toxicidad del plomo puede ocasionar efectos negativos en el funcionamiento de los sistemas nervioso, sanguíneo, respiratorio y reproductivo de los seres humanos (Balali-Mood, et al. 2021).

En el año 2018 el Perú fue considerado el tercer productor mundial de plomo, esto se debe a que la minería es una de sus actividades principales desde tiempos inmemoriales, además de su gran potencial geológico provisto por la cordillera de los Andes, fuente principal de recursos minerales Sin embargo, debido a este potencial geológico y a diversos problemas burocráticos, existe mucha minería ilegal e informal que no cumple con requisitos mínimos para realizar esta actividad, poniendo en riesgo la vida de los mineros y de terceras personas, además de tener un impacto negativo en el medio ambiente debido a la generación de efluentes que son vertidos en cuerpos de agua naturales, alterando su composición (Conexión Esan, 2019).

En la búsqueda de soluciones para abordar este problema, se han empleado diversos métodos para eliminar los iones de metales pesados de soluciones acuosas. Estos métodos comprenden la precipitación química, la filtración por membrana, el intercambio iónico (Khosravi, et al. 2018) y la separación por adsorción (Das, et al. 2021). En particular, los procedimientos basados en la adsorción se han convertido en la tecnología preferida para la remoción de iones de metales pesados, debido a su simplicidad operativa, bajo costo y eficacia en el tratamiento (Chen, et al. 2015).

En este contexto, se ha prestado especial atención a los adsorbentes naturales derivados de residuos agrícolas, industriales y alimentarios, tales como el tallo de maíz Liu et al. (2019), la cáscara de huevo Ahmad et al. (2012) y las cáscaras de frutas (Jena, et al. 2017), que se presentan como opciones de bajo costo para este propósito. Entre estos materiales naturales, la cáscara de limón destaca como un residuo reciclado particularmente interesante, debido a su variada composición química, que incluye pectina, celulosa, hemicelulosa y lignina, así como diversos grupos funcionales, como los grupos carboxilo e hidroxilo, que resulta ser excelentes adsorbentes potenciales para la eliminación de metales pesados, incluido el plomo Janati et al. (2012). Se ha identificado que las cáscaras de los cítricos contienen pectinas, que resultan ser eficientes en la adsorción de metales (Villanueva, et al. 2007).

El propósito de este trabajo de investigación es determinar la condición del proceso de bioadsorción a partir de la cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*), considerando el tipo de activación, masa del bioadsorbente y el tiempo de contacto del proceso, para obtener la mayor remoción de plomo.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿En qué medida la capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿En qué medida el tipo de activación de la cascará de limón sutil influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?
- ¿En qué medida la masa de la cáscara de limón sutil en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?
- ¿En qué medida el tiempo de contacto influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Determinar de qué manera la capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la influencia del tipo de activación de la cascará de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.
- Determinar la influencia de la masa de la cáscara de limón sutil en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.
- Determinar la influencia del tiempo de contacto en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. Justificación social**

La investigación tiene un aporte social porque al determinar si es beneficioso la cáscara de limón para la remoción de metales pesados como el plomo, contribuirá para la toma de decisiones sostenibles sobre soluciones para la conservación de nuestras aguas (Villanueva, et al. 2007).

#### **1.4.2. Justificación Ambiental**

Con la investigación se pudo determinar el nivel de concentración de la cáscara de limón necesario para que sea posible realizar el removimiento del Plomo de las aguas, mediante un estudio experimental. Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron, sirvió para diseñar nuevos métodos para mitigar impactos ambientales causados por la concentración de metales pesados en el medio, así como también obtener una mejora en los procesos de tratamientos de efluentes ya existentes. Lo cual es muy importante por la relación directa con la conservación del medio ambiente frente a las operaciones industriales. (Caviedes, y otros, 2015).

### **1.4.3. Justificación Económica**

La investigación es una propuesta de solución económica; dado que el presente proceso de remediación con biomasa es una alternativa de bajo costo y lo que ayuda posiblemente a tomar este método en las operaciones mineras medianas, pequeñas e incluso artesanales; las cuales no cuentan en muchos casos con el presupuesto para instalar modernas plantas de tratamiento, de esta manera puedan cumplir con los estándares y límites máximos permisibles vigentes. (Tejada, y otros, 2015).

## **1.5. Delimitantes de la investigación**

### **1.5.1. Delimitante teórica**

Para efectos del presente estudio, se realizó una revisión bibliográfica sobre investigaciones relacionadas a las capacidades de bioadsorción de la cáscara de limón para la remoción de plomo como solución a problemas de contaminación por vertimiento de efluentes industriales.

Se tuvo en cuenta los distintos factores que determinan la capacidad de bioadsorción como el tiempo de contacto, tamaño y masa de la cáscara de limón.

### **1.5.2. Delimitante espacial**

El trabajo de investigación desarrolló su parte experimental en el laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C., ubicado en Calle Simón Grados N° 781 Urb. Villa Sol. Los Olivos, Lima –Perú.

Asimismo, las cáscaras de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) fueron recolectadas del Megamercado Huamantanga del distrito de Puente Piedra, Lima – Perú.

### **1.5.3. Delimitante Temporal**

El desarrollo de las actividades en gabinete, como las evaluaciones experimentales se llevó a cabo en un periodo de 4 meses, comprendidos en los meses de mayo a agosto del año 2023.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales.

Según Verdugo (2017) señala en su tesis **“Bioadsorción de iones Plomo y Cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de mandarina (*Citrus reticulata* var. *clementina*)”** tiene como objetivo aprovechar los residuos generados después de consumir la mandarina; lo que significa convertir en un bioadsorbente la cáscara de esta, como un proceso de remoción de metales pesados en aguas residuales. En su método de investigación, establece la variación de los siguientes parámetros: tamaño de la partícula, tiempo de agitación y la concentración de los metales Plomo y Cromo; obteniendo como tamaño óptimo las partículas menores a 0.3mm con una eficiencia de remoción del 71,9% del Plomo y 54,4% del Cromo. Concluyendo que la bioadsorción con cáscara de mandarina es excelente para la remoción de Plomo y menos eficiente para el Cromo.

Según Leon et al. (2016) señala en su investigación **“Remoción de Hierro y Plomo en aguas Residuales por Bioadsorción de la Cáscara de Naranja Agria”** tienen como objetivo determinar la capacidad de bioadsorción de la cáscara de naranja agria para la reducción de Hierro y Plomo de las aguas residuales. En su método de investigación, establece el uso de la desmetoxilación de la cáscara de naranja con Hidróxido de Sodio (NaOH) de las cáscaras de naranja agria, y en el proceso se variaron 4 parámetros fisicoquímicos; concentración del metal, tamaño de partícula, tiempo de contacto y la dosis del bioadsorbente; en el cual se determinó para el hierro un porcentaje de remoción del 89,65% y para el Plomo un porcentaje de remoción del 96,61%.

Según Tejada et al. (2016) señala en su tesis **“Remoción de Plomo por biomásas residuales de Cáscara de Naranja (*citrus sinensis*) y Zuro de Maíz (*zea mays*)”** tienen como objetivo comparar la capacidad de remoción de plomo por adsorción de las biomásas de cáscara de naranja y zuro de maíz. En su método de investigación, establece la variación del tamaño de partícula y pH.

Encontraron que las biomásas presentaron mayor capacidad de adsorción a condiciones de tamaño de partícula de 0,5 mm, para el zuro de maíz y 1 mm, en la cáscara de naranja, a un pH de 6, con valores de remoción de 67,5 % y 99,2 %, respectivamente. Utilizaron diferentes modelos para describir la cinética de adsorción de Pb (II), siendo el de mayor ajuste el modelo de pseudo primer orden; por otro lado, el modelo de isoterma que se ajustó mejor a los resultados obtenidos fue el propuesto por Freundlich.

Según Ortiz et al. (2019) señala en su tesis **“Estudio de la bioadsorción de metales pesados (Pb y Cu) en las aguas del río Puyango, utilizando cáscara de naranja y plátano manzano”** tienen como objetivo determinar la capacidad de adsorción del polvo de la cáscara de naranja y plátano manzano para tratamientos de aguas contaminadas por metales pesados (Pb y Cu) presente en el Río. Su metodología evaluó la capacidad de adsorción mediante el tamaño de partícula de 0.315 mm de polvo de cáscara de plátano manzano y naranja, variando su concentración en un constante volumen de muestra de agua. Se obtuvo un porcentaje de remoción del 93.47% de Plomo y 85.71% Cobre con la cascara de plátano, y un porcentaje de remoción de 91.6% de Plomo y 78.11% de Cobre con la cascara de naranja. Concluyendo que la capacidad de adsorción y remoción de metales pesados (Cobre y Plomo) del bioadsorbente de polvo de cascara de plátano es mejor que la del bioadsorbente de cáscara de naranja, aunque ambos presentan altos porcentajes de remoción.

Según Espinoza (2019) señala en su tesis **“Evaluación de la cáscara de piña (ananás comosus) deshidratada, como biosorbente de metales pesados en aguas residuales sintéticas”** tienen como objetivo evaluar las partículas de cáscara de piña como biosorbente de metales pesados en aguas residuales sintéticas. En su método de investigación establece la realización del biosorbente de metales pesados por medio de la cáscara de la piña pulverizada, donde estas partículas se sometieron a tratamientos vía desmetoxilación y reticulación con  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{NaOH}$  para mejorar la estabilidad mecánica de las biomásas y la capacidad de adsorción. Se obtuvo como resultados de acuerdo al modelo de adsorción de Langmuir que la cantidad de cobre retenida por el adsorbente fue del 24,998 mg/g y del Hierro 24,885 mg/g por lo que la partícula

de cáscara de piña mostró una mayor remoción para el metal pesado cobre. Se concluyó que la cáscara de piña tratada se puede aplicar para la separación de iones de metales y adsorción de los mismos, reduciendo así costos de producción y el impacto negativo medioambiental.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales.**

Según Salas et al. (2017) señala en su tesis **“Eliminación de Plomo (II) y Fierro (II) por bioadsorción con cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) en residuos líquidos procedentes del laboratorio químico de Southern Perú”** tienen como objetivo el estudio de la bioadsorción como tecnología alterna y de bajo costo para el tratamiento de efluentes de laboratorio, contaminados con metales pesados, utilizando la cáscara de naranja como material bioadsorbente. Este estudio presenta la caracterización del efluente del laboratorio a evaluar y el procedimiento y en su metodología contempla la elaboración de las isotermas de Langmuir y Freundlich, donde la capacidad máxima de bioadsorción predichas por el modelo de Langmuir fue de 1.35 mg/g. En la tesis se concluye que la cáscara de naranja es un bioadsorbente con alta capacidad de remoción de Plomo y Fierro; y; por lo tanto, podría ser potencialmente útil para descontaminar aguas residuales y efluentes de laboratorio que presenten metales pesados.

Según Laura (2018) señala en su tesis **“Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del río Chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con Pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina”** tiene como objetivo aplicar un tratamiento de coagulación, floculación a las aguas contaminadas por metales pesados del río Chili; usando un bioadsorbente natural a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina, llevado a cabo en un dispositivo de pruebas de jarras. Su método de investigación señala la realización de un pretratamiento al material biosorbente para obtener pectina mediante la selección de la cáscara de estos frutos, su posterior lavado, secado, triturados, y desmetóxilados con hidróxido de sodio (NaOH). Al determinar la actividad floculante la pectina de mandarina es más eficiente con relación a la concentración de plomo logrando remover 71,95% de metal tóxico.

Según Collantes (2019) señala en su tesis **“Capacidad Biosorbente de Plomo de la Cáscara de Naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y la Vaina de Taya (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze)”** tiene como objetivo determinar la capacidad de bioadsorción de la cáscara de naranja y la vaina de taya frente al Plomo, siendo un proceso de bajo costo, para lo su metodología establece el diseño de un sistema continuo en columna de lecho fijo donde se colocaron 5 módulos previamente empaquetados de cáscara de naranja y vaina de taya. Se analizó la influencia de la concentración inicial de solución de plomo (0 ppm, 50 ppm, 100 ppm y 150 ppm) y tipo de biosorbente; manteniéndose constantes las variables masa de biosorbente, tamaño de partículas, pH, velocidad de flujo y duración del proceso. Los resultados obtenidos ponen en manifiesto la efectividad de ambas biomásas como biosorbentes de plomo, mostrando valores de porcentaje de remoción superior al 95 % para la cáscara de naranja y superior al 80 % para la vaina de taya. Donde se concluye que la cáscara de naranja y la vaina de taya alcanzan buenos porcentajes de remoción de plomo y podrían ser una gran alternativa para el uso como materiales biosorbentes para la descontaminación de aguas por metales pesados, siendo una técnica de bajo costo y amigable con el medio ambiente.

Según Paytan (2021) señala en su tesis **“Adsorción de plomo (II) usando cascara de plátano (*MusaParadisiaca*) en aguas contaminadas”** tiene como objetivo evaluar la capacidad de adsorción de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en la remoción de Plomo (II) de las aguas contaminadas. Para esto, se empleó la metodología de adsorción, donde se recolecto el material biológico del mercado público de la provincia de Huancayo; se empleó el diseño factorial experimental 2K cuyos niveles son: el diámetro del adsorbente y pH, con dos factores (tamices N° 70; 100) y (4.0; 6.0) respectivamente, con tres repeticiones. Para las pruebas cinéticas e isotermas de adsorción se empleó modelos matemáticos Pseudo-primero orden, Langmuir, Pseudo-segundo orden, y Freundlich respectivamente. Los resultados demuestran que las variaciones de los tamaños de partícula influyen significativamente en la capacidad de remoción, a 212 mm de tamaño de biomasa se removió el 97.50 % y con respecto a los niveles de pH no existió diferencia alguna. El modelo cinético de

Pseudo-segundo orden poseía el mejor coeficiente de regresión lineal de 0.878, mientras que para el Pseudo-primer orden se obtuvo un valor de 0.4395, caracterizándolo como una adsorción química con intercambio iónico. El modelo isotérmico fue el de Freundlich ( $R^2 = 0.9954$ ). Se concluyó, que la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) presenta una eficiente posibilidad de adsorción de los iones Pb (II) pudiéndose ser empleada para el uso industrial.

Según Muñoz (2007) señala en su tesis **“Bioadsorción de plomo (II) por cáscara de naranja “*Citrus cinensis*” pretratada”** tiene como objetivo en realizar pruebas de bioadsorción de iones Pb (II) a partir de soluciones diluidas usando como material biosorbente la cáscara de naranja *Citrus cinensis*, reticulada para demostrar que la pectina procedente de cáscara de naranja posee propiedades biosorbentes de los iones Plomo, Pb(II), la metodología a usar son técnicas de absorción atómica y tratamiento de la cascara de naranja. Los resultados de los experimentos en batch se procesaron con la ayuda de las ecuaciones de Langmuir y Freundlich. La máxima capacidad de bioadsorción de Pb (II) por la cáscara de naranja pretratada ( $q$  máximo) fue de 141.05 mg/g. Donde se concluye que el pH óptimo de adsorción es entre 4.52 y 5.53, el tamaño de partícula óptimo es de 125 -250  $\mu\text{m}$  y el peso óptimo de biosorbente de 0.2 g.

## **2.2. Base Teórica**

### **2.2.1. La bioadsorción**

La bioadsorción es una nueva tecnología que consiste en la utilización de residuos orgánicos como material para la disminución de concentraciones de metales pesados en cuerpos de aguas, en los últimos años se ha indagado para ver qué tipo de biomasa tiene mejor rendimiento como adsorbente. La bioadsorción es un proceso de adsorción que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Pinzón, et al. 2009).

El proceso de bioadsorción involucra dos fases: una fase sólida que es el bioadsorbente, y una fase líquida que generalmente es agua, que contiene una especie disuelta que se desea retener con el adsorbente. Debido a la fuerte

afinidad entre el bioadsorbente y el adsorbato (la especie que se va a adsorber), este último es atraído y retenido por diferentes mecanismos, los cuales serán discutidos más adelante. Este proceso continúa hasta que se alcanza un equilibrio entre la cantidad de adsorbato retenido en el bioadsorbente y la cantidad restante en la solución (Cardenas, et al. 2013).

Las macromoléculas que participan en el proceso de bioadsorción son biopolímeros, especies químicas de gran tamaño y alto peso molecular, que se encuentran mayormente en las paredes celulares de las plantas, aunque también están presentes en ciertas estructuras animales. Estos biopolímeros son los principales responsables de la capacidad de adsorción de las biomásas y cuando se utilizan como adsorbentes, se les llama bioadsorbentes. La celulosa, un biopolímero de origen vegetal, es el más abundante en la naturaleza y está compuesta por unidades monoméricas de glucosa (Cardenas, et al. 2013).

#### **2.2.1.1. Factores de la bioadsorción.**

Los procesos de bioadsorción esta principalmente influenciada por varios factores los cuales van a permitir o impedir que se llegue a una buena bioadsorción, estos factores son: las propiedades del contaminante, parámetros físicos-químicos, condiciones del medio y propiedades de la biomasa (Carro de Diego, 2012).

##### **a. Tipo de material bioadsorbente**

La capacidad y mecanismos de retención de los adsorbatos, dependen de la composición y reactividad química de la superficie del bioadsorbente. Por otro lado, las propiedades físicas como la densidad, la porosidad, la resistencia mecánica o el tamaño y la forma de partícula condicionan su posible utilización en columnas de lecho fijo (Raize, et al. 2004).

##### **b. Influencia del tamaño de partícula**

Este parámetro actúa directamente en la bioadsorción, debido a que menor dimensión de partícula existe un mayor número de centros activos disponibles para que se dé la reacción y una mayor facilidad para que el adsorbato acceda a ellos teniendo menor limitación a la difusión. Los procesos

de adsorción se dan en el interior de las partículas, sobre las paredes de sus poros en puntos concretos. La capacidad que tiene el bioadsorbente para adsorber es directamente proporcional a su volumen, y el volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial (Malkoc, et al. 2006).

c. Influencia del pH

Los cambios de pH tienen una incidencia en los procesos de adsorción ya que existen 3 maneras en las que el pH influye en este proceso: el estado de los sitios activos de la biomasa varía con el pH del medio haciéndolos más o menos disponibles para el enlace con los compuestos en disolución; valores de pH extremos pueden dañar la estructura del material y es fundamental la solubilidad del metal en disolución que son factores que depende directamente del pH (Verdugo, 2017).

d. Influencia del tiempo de contacto

El tiempo de contacto consiste en conocer el tiempo de equilibrio entre el soluto y el material, para que se complete el proceso de adsorción y así conocer la cinética del proceso de eliminación. Este tiempo depende de algunos parámetros como la concentración del contaminante y la cantidad de adsorbente, normalmente los procesos de adsorción tienen tiempos cortos, llegándose al equilibrio en unas pocas horas e incluso minutos (Verdugo, 2017).

e. Influencia de la temperatura

La temperatura no influye tan drásticamente en los procesos de bioadsorción si se maneja en un rango específico, pero si hay variaciones bruscas que puede afectar directamente la interacción entre soluto y adsorbente. Este hecho indica que la eliminación de un compuesto determinado puede estar regida por un mecanismo de intercambio iónico, ya que este proceso no se ve afectado por la temperatura (Verdugo, 2017).

### **2.2.1.2. Bioadsorción de Metales Pesados**

La bioadsorción de metales pesados ha demostrado su potencial en la recuperación de dichos metales tras la purificación de aguas contaminadas. Sin

embargo, la viabilidad industrial de esta recuperación está condicionada por el costo del bioadsorbente, y se destaca que los residuos de celulosa pueden ser una opción económicamente favorable en comparación con adsorbentes convencionales cuyos costos superarían los beneficios obtenidos.

Por ejemplo, la bioadsorción de Plomo con celulosa (Figura 1) puede ocurrir a través de quimiosorción, lo que implica intercambio iónico, coordinación y quelatación, con altas energías de enlace entre el adsorbente y la especie metálica. También puede darse la bioadsorción por fisorción, que involucra interacciones débiles de tipo dipolar o atrapamiento en tamices moleculares. En esta última categoría, la adsorción física se produce mediante fuerzas de van der Waals. El intercambio iónico se refiere a una clase de mecanismo en que los iones metálicos adsorbentes toman el lugar de otras especies ya asociados con la superficie del sorbente (Villanueva, et al. 2007).

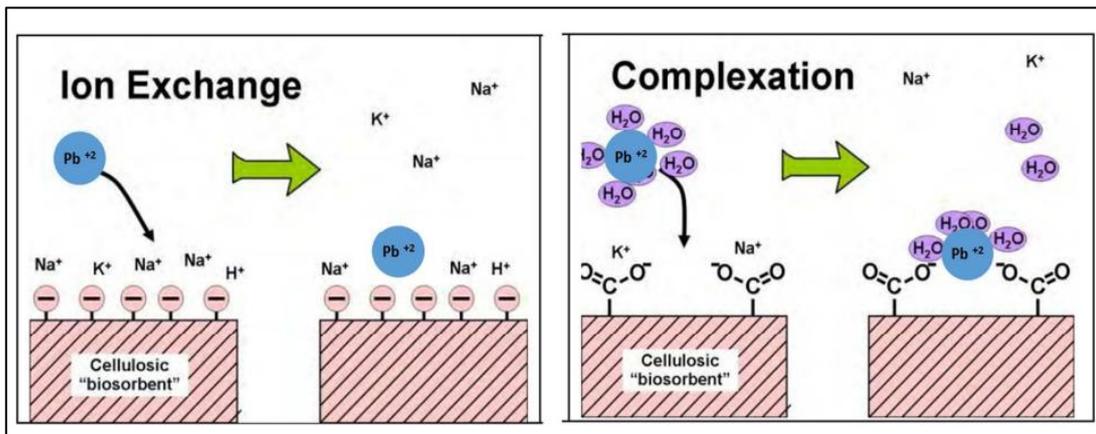


Figura 1. Mecanismos de plomo en la celulosa Fuente: Villanueva et al., 2007.

Basada en la adsorción de los iones por biomasa muerta tratada con sustancias químicas y sin tratar. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación y atracción electrostática. La remoción y recuperación de metales pesados de efluentes líquidos por el mecanismo de bioadsorción ha sido mencionado en varias publicaciones utilizando diferentes combinaciones de metales y biosorbentes (Villanueva, et al. 2007).

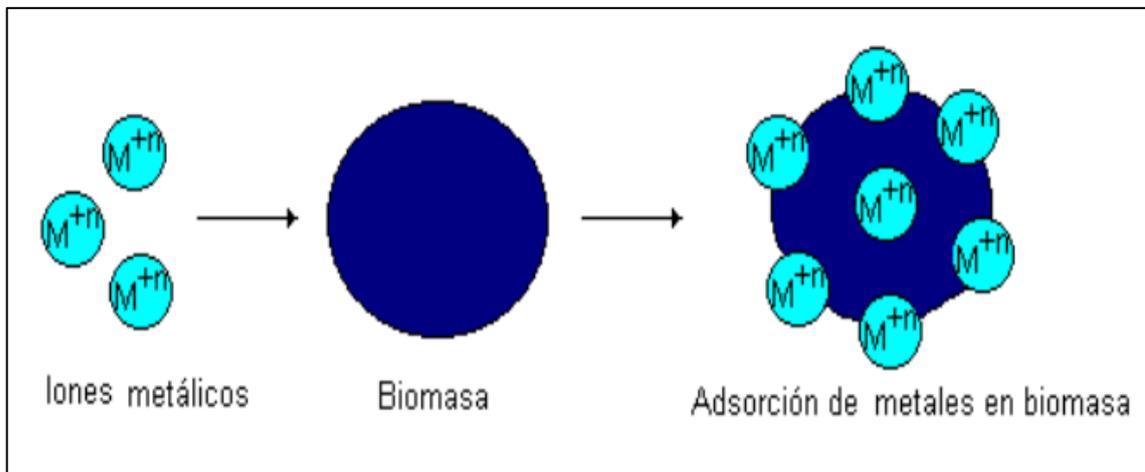


Figura 2. Bioadsorción de metales pesados. Fuente: Villanueva et al., 2007.

### 2.2.2. Bioadsorción por Pectinas

Las cáscaras de cítricos por lo general son productos de desecho, estos residuos sirven como valor agregado para tratamientos como agente gelificante o para obtención de aromas o aceites esenciales. Estas cáscaras son una buena fuente de pectina; las cortezas de limón, toronja y naranja contienen de 25 a 40% de pectinas en base seca Badui (2006).

Las pectinas están conformadas por polisacáridos aniónicos heterogéneos que se encuentran en la pared celular de vegetales; Estos polisacáridos están conformados principalmente por unidades de ácido D-galacturónico, mediante los cuales algunos de los grupos carboxilo se encuentran metoxilados (García, et al. 2011).

El mecanismo de Bioadsorción de metales en pectinas provenientes de cítricos está determinado principalmente por el número de grupos de ácidos carboxílicos presentes, los cuales son mayores en pectina de bajo grado de metoxilación y se encuentran en menor cantidad cuando tienen altos grados de metoxilación (García, et al. 2011).

#### 2.2.2.1. *Propiedades Físicoquímicas de las pectinas*

Las propiedades más importantes de las sustancias pécticas desde el punto de vista de su utilidad industrial son:

#### a. Hidratación

La protopectina y los ácidos pécticos tienen una capacidad limitada para hidratarse en agua. El grado de hidratación está influenciado por factores como la estructura de la red, el peso molecular, el grado de esterificación y la presencia de sales en el medio. A medida que aumenta el peso molecular y el grado de esterificación, se observa un incremento en la hidratación de las sustancias pécticas (Hirst, et al. 1988).

#### b. Solubilidad

La solubilidad de la pectina está estrechamente relacionada con su capacidad de hinchamiento en coloides hidrofílicos. Para que la pectina pueda gelificar adecuadamente, es necesario que esté completamente disuelta. Sin embargo, la capacidad de solubilidad y formación de geles puede verse limitada por el tamaño del gránulo de pectina, la longitud de la cadena y el grado de esterificación. Estos factores juegan un papel importante en su comportamiento y propiedades gelificantes Fiszman (1989).

#### c. Viscosidad

Las soluciones de sustancias pécticas pueden exhibir una alta viscosidad, lo cual es relevante para el comportamiento de diversos productos alimenticios y farmacéuticos. La viscosidad depende del peso molecular, grado de esterificación, presencia de electrolitos y del pH. La determinación de la viscosidad de las sustancias pécticas puede utilizarse para estimar el peso molecular. La presencia de iones polivalentes como el calcio aumenta la viscosidad de las soluciones de pectina. Sin embargo, las soluciones de sustancias pécticas son susceptibles a la degradación irreversible, lo que puede llevar a la pérdida de viscosidad y disminución del poder gelificante. Es importante tener en cuenta estos factores al utilizar pectina en aplicaciones industriales y alimentarias (Hirst, et al. 1988).

### **2.2.3. Metales pesados.**

Se denominan metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que

presentan un peso específico mayor a 4 gr/cm<sup>3</sup>. Los metales conocidos son aproximadamente 8 los cuales se dividen en dos grupos: los esenciales para la vida y los no esenciales. Los metales no esenciales no se pueden degradar por vía metabólica, se acumula en los tejidos causando severos daños debido a que poseen una alta toxicidad. Uno de los principales problemas es su descarga a las aguas naturales y sus elevadas concentraciones, estos entran a cauces naturales mediante procesos naturales o antropogénicos. La contaminación derivada de procesos antropogénicos puede dar lugar a concentraciones locales elevadas originando efectos nocivos (Liu, et al. 2009).

#### ***2.2.3.1. Generación de metales.***

Como se sabe los metales provienen de la corteza terrestre, por lo que contaminan en un gran porcentaje y son bien expuestos a nuestra naturaleza mediante actividades antropogénicas. Una de las principales fuentes de contaminación por metales pesados es la minería, debido a la remoción de grandes cantidades de material, refinamiento o efluentes industriales. Estos fenómenos naturales y actividades antropogénicas forman parte de emisiones de elementos metálicos a la atmósfera (Castro, 2015).

Se puede decir que los metales pesados se refieren a un conjunto de elementos que presentan característica de elevada densidad y que no son biodegradables ni termo degradables. Al exponerse los metales pesados en algunas circunstancias puede darse la degradación y muerte de vegetación, animales, ríos e, incluso de daños directos hacia las personas, se conoce más sobre efectos de estos elementos, relacionado con la salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón y lamentablemente hasta casos de muerte (Acosta, et al. 2011).

#### ***2.2.3.2. Efectos de la salud en el medio ambiente.***

Los metales pesados carecen de valor biológico, por lo que no es requerido para el funcionamiento normal de los seres vivos y al no ser biodegradable puede durar cientos de años. El plomo y los compuestos de plomo son generalmente contaminantes tóxicos no solo para la salud humana sino

también para las plantas limitando la síntesis clorofílica además de acumularse en los organismos de animales, sedimentos y en el fango (Rodríguez, 2013).

- Medio Ambiente

Debido a las descargas de efluentes industriales contaminados, corrosión de tuberías y pinturas que contienen plomo puede llegar a cuerpos hídricos, en ambientes naturales los animales pueden absorber plomo por inhalación o por ingesta; si la absorción es lenta, la excreción lo es aún más, de manera que el plomo tiende a bioacumularse (Rodríguez, 2013).

El Plomo se bioacumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo produciéndoles efectos en su salud a concentraciones superiores a las del medio, este problema de bioacumulación se ve exacerbado por la biomagnificación de estos elementos en su paso a través de la cadena trófica (Verdugo, 2017).

- Salud Humana

En el organismo humano, el plomo inorgánico no se metaboliza, sino que se absorbe, se distribuye y se excreta directamente. La velocidad a que se absorbe el plomo depende de su forma química y física y de las características fisiológicas de la persona expuesta (edad y estado nutricional) (Poma, 2008).

#### **2.2.4. Parámetro de Calidad de las Aguas**

A. Categoría 1: Poblacional y recreacional

##### A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

## **2.3. Conceptual**

### **2.3.1. Capacidad de bioadsorción**

Wankat, et al. (2008) define a la capacidad de adsorción como “... *unas características más importantes de un adsorbente. Se define como la cantidad de adsorbato que puede retenerse en el adsorbente por unidad de masa o volumen. La capacidad de adsorción se relaciona directamente con la superficie específica del material y con su volumen de poros, así como con el tamaño de poro promedio del material...*”

Villanueva, et al.(2005) define a la capacidad de bioadsorción como “... *cantidad de adsorbato que puede retenerse en el bioadsorbente por unidad de masa; este proceso fisicoquímico se relaciona directamente con el tamaño de partícula, como el tiempo de contacto de la operación de bioadsorción...*”.

McCabe et al. (2007) a la capacidad de adsorción como “...un proceso de adsorción como la operación unitaria utilizada para descontaminar, retirar moléculas contaminantes (conocidos como adsorbatos) de los fluidos, estos adhiriéndose a la superficie de un sólido (conocidos como adsorbente) ...”.

### **2.3.2. Remoción de plomo**

Cruz, et al. (2017) define a la remoción de plomo como “...*el empleo de procesos fisicoquímicos, diseñados para la remover el metal contaminante en el agua; disminuyendo su concentración en el cuerpo receptor...*”

La RAE, 2020 define a la remoción como un “...*término que se usa para hacer referencia a todo proceso que trate de separar algo de su sitio...*”

(Kuffó, 2013), define al Plomo como “... un metal pesado de remoción de plomo azulado llegando adquirir una remoción de plomo grisáceo dependiendo de las condiciones que se halle, se encuentra distribuido ampliamente por la naturaleza siendo parte de un gran número de minerales. Es considerado como un elemento químico peligroso, entre todas las sustancias químicas tóxicas presentes en el ambiente...”

## **2.4. Definición de términos básicos**

### **La pectina**

Las sustancias pépticas o pectina son polímeros de un grupo extenso de polisacáridos vegetales cuya estructura básica está integrada por moléculas de ácido D-galacturónico. Están unidas por enlaces glucosídicos formados principalmente por 600 a 1000 unidades (1,4)  $\alpha$ -D-ácido galacturónico (forma oxidada de la D-galactosa), en la cual algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con metilos o en forma de sal (Grünauer, 2009).

### **Adsorción**

Proceso en el que un soluto se transfiere y se acumula en la superficie de otra fase (como una superficie sólida), lo que resulta en una mayor concentración de moléculas en la superficie. (Crittenden, et al. 2005)

### **Capacidad de Adsorción**

Propiedad primordial del carbón activado, siendo una medida de la eficiencia de la adsorción. El área superficial y el volumen de poros influyen en la capacidad de adsorción Lazo (2015).

### **Adsorbato**

Compuesto que se desea eliminar, el cual puede ser líquido o gas, las moléculas de dichos compuestos se adhieren adsorbidas en la superficie del adsorbente (Crittenden, et al. 2005).

### **Adsorbente**

Material sólido usado para capturar un gas o un líquido; a menudo es empleado carbón activado con esta finalidad debido a su alta área superficial por unidad de masa (Crittenden, et al. 2005).

### **Tamaño de la partícula**

Propiedad del carbón activado que permite un mejor uso de poder adsorbente en base a tamaño óptimo de las partículas, el cual se expresa con el porcentaje de carbón que pasa por una malla determinada con respecto a la masa inicial tomada para la prueba Lazo (2015).

### **Masa del adsorbente**

Cantidad del adsorbente expresado en gramo, siendo el factor que va a limitar hasta cierto punto la concentración del contaminante que se adsorbe, es decir a mayor cantidad de adsorbente, obtendremos una mayor adsorción (Garcés, et al. 2012).

### **Persistencia**

Tiempo que un compuesto puede permanecer en el medio ambiente después de haber sido introducido en éste. Algunos compuestos pueden persistir en forma indefinida INEI (2018).

### **Toxicidad**

Se refiere a los efectos adversos que se manifiestan tras la administración por vía oral o cutánea de una sola dosis de dicha sustancia. Según Steiert et al. (1985), la toxicidad de los fenoles clorados depende de su estructura molecular, es decir, está en función a la cantidad y la posición de átomos de cloro en el anillo bencénico (Bellot, et al. 2011).

### **Hidrofobicidad**

La hidrofobicidad de los clorofenoles aumenta con el número de átomos de cloro en la molécula, teniendo tendencia a acumularse a través de la cadena alimentaria (Martins, et al. 2015).

### **Bioadsorción**

El proceso de bioadsorción es el proceso fisicoquímico mediante el cual el material contaminante se adhiere a la superficie de materiales orgánicos; con este proceso se pueden captar diferentes metales (Villanueva, et al. 2005).

### **Limón**

El limón ocupa un primer lugar entre los frutos curativos, preventivos y de aporte vitamínico, transformándolo en un gran eliminador de toxinas y un poderoso bactericida. Posee vitamina C en abundancia que refuerza las

defensas del organismo para evitar enfermedades, sobre todo de las vías respiratorias que van desde un simple catarro, ronquera, amigdalitis, hasta pulmonías, bronquitis, congestiones, gripe, asma etc. La vitamina C o ácido ascórbico posee gran poder desinfectante y tiene además una acción antitóxica frente a los venenos microbianos y medicamentosos. Junto a la vitamina C se encuentra la vitamina P que ayuda a tonificar los capilares y vasos sanguíneos (Badui, 2006).

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### Hipótesis General

- La capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

##### Hipótesis Específicas

- Hi.1: El tipo de activación de la cascará de limón influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.
- Hi.2: La masa de la cáscara de limón influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.
- Hi.3: El tiempo de contacto influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

#### 3.1.1. Operacionalización de las variables

##### a. Variable independiente

##### Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*)

Cantidad de adsorbato que puede retenerse en el bioadsorbente por unidad de masa; esta, se relaciona directamente con el tamaño de partícula, como el tiempo de contacto de la operación de bioadsorción (Villanueva, et al. 2007).

##### b. Variable dependiente

##### Remoción de plomo

La remoción de plomo consiste en el empleo de procesos fisicoquímicos, diseñados para la remover el metal contaminante en el agua; disminuyendo su concentración en el cuerpo receptor (Cruz, et al. 2017).

**Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables**

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Índice/items	Método	Técnica
<p>Variable independiente (X):</p> <p>Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (<i>Citrus aurantifolia</i>)</p>	<p>Cantidad de adsorbato que puede retenerse en el bioadsorbente por unidad de masa; este proceso fisicoquímico se relaciona directamente con el tamaño de partícula, como el tiempo de contacto de la operación de bioadsorción (Villanueva, et al. 2007).</p>	<p>La capacidad de bioadsorción a partir de cáscara de limón sutil (<i>Citrus aurantifolia</i>) se evaluará tomando en cuenta el proceso fisicoquímico: el tipo de activación y la masa de la cáscara de limón sutil, y el tiempo del proceso; de acuerdo a la técnica de observación, utilizando dos mallas Tyler, una balanza analítica y un cronómetro.</p>	<p>X1:</p> <p>Proceso fisicoquímico</p>	<p>I<sub>1</sub>: Tipo de activación de la cáscara de limón sutil</p> <p>I<sub>2</sub>: Masa de la cáscara de limón sutil</p> <p>I<sub>3</sub>: Tiempo de contacto</p>	<p>X<sub>1</sub>= Reticulado X<sub>2</sub>= Sin reticular</p> <p>X<sub>3</sub>= 5 g X<sub>4</sub>= 15 g</p> <p>X<sub>5</sub>= 1 h X<sub>6</sub>= 3 h</p>	<p>Hipotético - deductivo</p>	<p>Observación experimental</p>
<p>Variable dependiente (Y):</p> <p>Remoción de plomo</p>	<p>La remoción de plomo consiste en el empleo de procesos fisicoquímicos, diseñados para la remover el metal contaminante en el agua; disminuyendo su concentración en el cuerpo receptor (Cruz, et al. (2017).</p>	<p>La remoción de plomo en aguas sintéticas se evaluará a través del proceso fisicoquímico; mediante el porcentaje de remoción de plomo; de acuerdo a la técnica de observación, empleando un espectrofotómetro.</p>	<p>Y1:</p> <p>Proceso fisicoquímico</p>	<p>I<sub>1</sub>: Porcentaje de remoción de plomo</p>	<p><math>Y_1 = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) 100\%</math></p>	<p>Hipotético - deductivo</p>	<p>Observación experimental</p>

## **IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **4.1. Diseño de la investigación**

El presente estudio alcanza un enfoque cuantitativo, dado que presenta un conjunto de procesos organizados de manera secuencial, con el fin de comprobar las hipótesis establecidas; donde cada fase precederá a la siguiente (Hernández, et al. 2014).

El tipo de investigación es Básica, dado que se basa en la creación de nuevo conocimiento (Ñaupas et al. 2018). El diseño de la investigación es experimental, de acuerdo con Carrasco (2017): “En este nivel se aplica un nuevo sistema, modelo, tratamiento, programa, método o técnica para mejorar y corregir la situación problemática, que ha dado origen al estudio de investigación” (Hernández, et al. 2014).

La investigación es de nivel explicativa, por qué ocurre un fenómeno o suceso particular, buscando encontrar las variables involucradas y cómo interactúan entre sí para generar el resultado observado. Por lo tanto, este nivel de investigación se preocupa por ir más allá de la descripción y la correlación de fenómenos, buscando explicar las razones subyacentes de su ocurrencia (Ñaupas, et al. 2014).

### **4.2. Método de investigación**

De acuerdo a Behar, (2008) el método hipotético - deductivo: “Va de lo general a lo particular, parte del estudio de principios generales, leyes o teorías, para deducir por medio de razonamiento lógico suposiciones y llegar a la observación y registro de datos”.

#### **4.2.1. Procedimiento experimental**

Para la utilización del material biosorbente se realizó un pretratamiento, que consiste en retirar las impurezas u otros compuestos que pudieran afectar el proceso de bioadsorción; luego de estos se sometió a las cáscaras a los siguientes tratamientos:

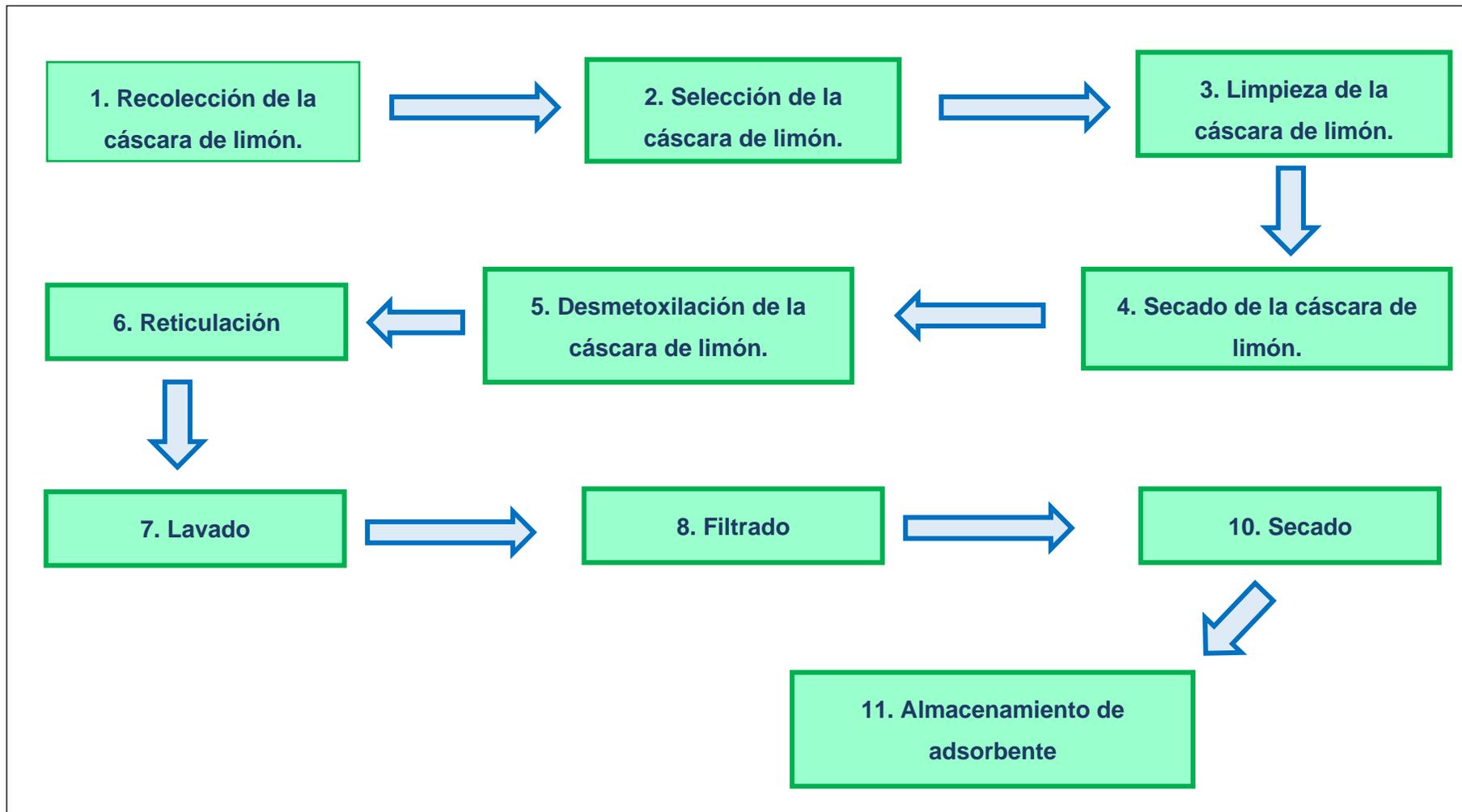


Figura 3. Flujograma de preparación del bioadsorbente.

a. Preparación de la Cascara de Limón

El proceso para preparar la cascara de Limón se inició con la selección del limón, tomándose en cuenta el mejor estado del material biosorbente, que no tenga procesos de descomposición para evitar la proliferación de hongos.

i. Limpieza

Para una correcta fase de experimentación se sometió a las cáscaras de Limón a un lavado con abundante agua, para eliminar impurezas y compuestos solubles como taninos, azúcares reductoras y residuos de pulpa.

ii. Troceado

Luego de la limpieza se cortó la biomasa en pequeños trozos de 0,5 a 1 cm<sup>2</sup> de superficie con el fin de facilitar las posteriores etapas de secado y reducción por tamaños.



**Figura 4.** Troceado de la cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*)

iii. Secado

Se realizó el secado de los trozos a 50°C por 24 horas, se realizó un volteo de la cascara para su secado homogéneo.



**Figura 5.** Secado de la cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en la estufa

iv. Molienda

Una vez que las cáscaras estaban secas se molieron con la finalidad de pulverizar y reducir el volumen de las partículas de las muestras sólidas.



**Figura 6.** Molienda de la cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*)

v. Tamizado

Una vez que obtenemos el material pulverizado se tamiza a  $630\ \mu\text{m}$ , correspondiendo a mallas Tyler N°30.



Figura 7. Tamizado de la cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*)

b. Preparación de la Cascara de Limón

i. Desmetoxilación de la cáscara de Limón

1era parte: Para este tratamiento; la cáscara de limón debe estar libre del aceite esencial, Las enzimas pectolíticas son inactivadas con un tratamiento térmico de corta duración, que consiste en lavados continuos de agua tibia a 60 °C (aprox.) y agitación constante; luego de esto se lava varias veces con agua desionizada y se seca en una estufa a temperatura de 40 °C.

2da parte: se toma 30g de biomasa seca de Limón y se coloca en 500 mL de una solución de NaOH 0,2M (pH 10 - 11) a temperatura de 4°C, la cual se mantiene en agitación constante por 2 horas; Luego de esto se filtra y se hace lavados sucesivos con agua destilada para eliminar el exceso de NaOH, después se seca en una estufa a una temperatura de 40 °C.

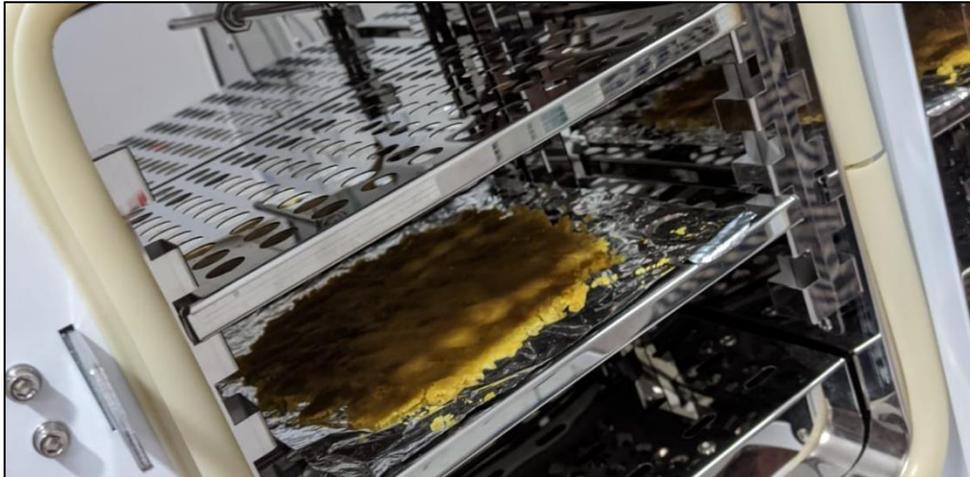


Figura 8. Secado de cáscara desmetoxilizada em estufa a 40 °C

ii. Reticulación de la cáscara de Limón

En esta parte del tratamiento se toman 10 gramos de las cáscaras desmetoxiladas previamente y se coloca en 500 mL de una solución de  $\text{CaCl}_2$  0,2 M reguladas a pH 5 (HCl 0.1M); manteniendo en agitación constante a 200 rpm durante 24 horas a temperatura ambiente como señala Sadasivam y Reddy (2015).



Figura 9. Agitación de la cáscara reticulada a 200 rpm durante 21 horas

### c. Diseño experimental

Es un diseño que trabaja con grupos ya formados, no aleatorizados. Este diseño se aplica a situaciones reales, ya que no se pueden formar grupos aleatorios, pero se pueden manipular las variables experimentales Ñaupás et al. (2014).

Para esta investigación se adoptará un diseño factorial fraccionado de arreglo  $2^{3-1}$  con una (3) réplica y dos (2) puntos centrales, obteniéndose 14 tratamientos. Los factores son A: tipo de activación de la cáscara de limón sutil (sin reticulación y con reticulación), B: Masa de la cáscara de limón (5 -15 g), C: Tiempo de contacto (1 – 3h), cada uno con dos niveles. Asimismo, en la Tabla se muestra matriz experimental con todos los tratamientos.

**Tabla 2.** *Matriz experimental para la remoción de Plomo*

Tratamiento	PtCentral	Factor A: Tipo de activación	Factor B: Masa (g/L)	Factor C: Tiempo (H)
1	1	Sin reticular	15	1
2	0	Sin reticular	10	2
3	0	Reticulado	10	2
4	1	Sin reticular	15	1
5	1	Reticulado	5	1
6	1	Reticulado	5	1
7	1	Sin reticular	15	1
8	1	Reticulado	15	3
9	1	Reticulado	5	1
10	1	Sin reticular	5	3
11	1	Reticulado	15	3
12	1	Reticulado	15	3
13	1	Sin reticular	5	3
14	1	Sin reticular	5	3

El porcentaje de remoción  $Y_1$  de los contaminantes se determinó mediante comparación de sus mediciones inicial y final para cada prueba experimental, utilizando la siguiente ecuación:

$$Y_1 = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) 100\%$$

Donde:

$C_i$ : concentración inicial del contaminante (mg/L)

$C_f$ : concentración final del contaminante (mg/L)

d. Pruebas experimentales

i. Preparación del agua sintética

Se prepararon 6 litros de agua sintética a una concentración de 20 ppm de plomo, para lo cual se utilizó agua desionizada a la cual se le adicionó un determinado volumen de solución standard de nitrato de plomo hasta alcanzar los 20 ppm.

ii. Ensayos de Bioadsorción

En esta parte del trabajo se realizaron los siguientes pasos de acuerdo al desarrollo experimental:

Se distribuyó en matraces de vidrio de 250 mL muestras de 100 mL de la solución de trabajo.

Se pesa las masas de las cáscaras en la 1ra etapa de experimentación que consistía en utilizar 5, 10 y 15 g para ser introducidos en las muestras de 100 mL de agua sintética.

La mezcla se homogenizó mediante agitación manual, durante 2 min cada hora durante las 1, 2, y 3 horas del proceso experimental.

Todas las muestras se mantienen a temperatura ambiente ya que este factor influye poco o nada en el proceso de bioadsorción.

Las muestras se filtraron con un Kitasato a bomba vacío usando un filtro whatman N° 40.

El agua tratada se midió Plomo e todos los tratamientos.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

La población está constituida por un conjunto de sujetos, objetos o hechos, que presentan características similares, que son medibles y que constituyen la unidad de investigación (Ñaupas, et al. 2014).

##### Cáscara de limón sutil

La población de la cáscara de limón sutil corresponderá a la recolectada de las cevicherías dentro del Megamercado Huamantanga, ubicado en el km 30.5 de la Panamericana norte, del distrito de Puente Piedra, Lima.

##### Agua sintética

La población en el presente estudio de investigación corresponde a los 6 L de aguas sintéticas con plomo a 20 ppm, la cual constituye a la unidad de análisis.

#### **4.3.2. Muestra**

La muestra es la fracción representativa de la población, la cual permite la generalización de los resultados; por lo tanto, se puede considerar que la muestra como la parte seleccionada de una población o universo sujeto a estudio, y que reúne las características de la totalidad (Ñaupas, et al. 2014).

##### Cascara de limón sutil

La muestra recolectada de cascara de limón sutil fue de 5 kg, ya que se verifico en diferentes investigaciones que es la cantidad de masa idónea que alcanza para nuestro experimento para 06 litros de agua con diferentes cantidades de masa.

### Agua sintética

Para este experimento, la muestra corresponde a las soluciones sintéticas de 200 mL preparadas en el laboratorio a tratar con la cáscara de limón sutil, a partir de agua desionizada y el reactivo de Nitrato de Plomo.

#### **4.4. Lugar de estudio**

El lugar donde se desarrollará la fase experimental, será en el laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

Las técnicas a usar en la presente investigación es la observación experimental, ya que esto es un proceso sistemático, con el cual se busca obtener información de la realidad enfocándose en el objeto de investigación, además radica en ver y percibir hechos o fenómenos en donde se pueden emplear diversos instrumentos, pudiendo depender el fenómeno que se está estudiando (Ñaupas et al. 2018).

Las técnicas analíticas de laboratorio e instrumento que se emplearon en la medición, se detallan a continuación:

- Para el tipo de activación de la cáscara de limón sutil se usará el método de la ASTM C 136 -01 / 117 – 95, empleando como instrumento las Mallas Tyler N°30.
- Para la masa de la cáscara de limón sutil se empleará el método establecido en el Manual de instrucciones de la balanza analítica del laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C.
- Para determinar el tiempo de contacto se empleará el método establecido en el Manual de instrucciones del cronómetro del laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C. y el instrumento a usar será el cronómetro.
- Para determinar la variación de la concentración de plomo, las 14 muestras de 200 mL tratadas con cáscara de limón sutil se mandaron a analizar al laboratorio ESSE ENVIRONMENTAL TESTING

LABORATORY E.I.R.L., donde el método de ensayo es Metales Totales ICP-MS- Agua (EPA Method 200.8 Rev. 5.4 1994).

Los materiales, equipos y reactivos que fueron utilizados en el laboratorio se detallan a continuación:

- Material de origen biológico
- Biomasa de Cascara de Limón para la obtención del adsorbente, recolectada de las cevicherías dentro del Megamercado Huamantanga, ubicado en el km 30.5 de la Panamericana norte, del distrito de Puente Piedra, Lima.
- Materiales de laboratorio
  - ✓ Fiolas de 100 mL, Clase A
  - ✓ Vasos de precipitado de 200, 500, 1000 mL
  - ✓ Kitasato de 1000 mL
  - ✓ Baguetas de vidrio
  - ✓ Buretas
  - ✓ Matraz Erlenmeyer de 100, 250 mL
  - ✓ Luna de reloj
  - ✓ Piscetas
  - ✓ Papel filtro
  - ✓ Espátula
  - ✓ Cuchillo
  - ✓ Soporte
  - ✓ Mortero y Pilón
  - ✓ Tamiz Tyler N°30

- Equipos
  - ✓ Balanza analítica
  - ✓ Horno de laboratorio
  - ✓ Estufa
  - ✓ pH metro
  - ✓ Bomba de vacío ROCKER-300 1/8 HP
- Reactivos
  - ✓ Solución NaOH 0.1 M
  - ✓ Solución HCl 0.05 M
  - ✓ Solución HCl 0.1 M
  - ✓ Solución de CaCl<sub>2</sub> 0.2 M
  - ✓ Solución de HNO<sub>3</sub>
  - ✓ Nitrato de Plomo Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
  - ✓ Agua desnionizada

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Para el diseño factorial completo y la estimación de los coeficientes para la función de respuesta del porcentaje de remoción de plomo se utilizará el software estadístico MINITAB. La significación de la ecuación del modelo estadístico, los parámetros individuales y las interacciones de los factores se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) en los intervalos de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ). Se utilizará como estadístico el p-valor y se analizó el  $R^2$  y  $R^2$  ajustado.

Así también, se obtendrán gráficos de contorno bidimensionales (2D) y respuestas de superficie tridimensionales (3D) para el modelo estadísticos.

#### **4.7. Aspectos éticos en investigación**

Los autores de la presente investigación titulada “Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) para la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto” aseguran la autenticidad y confiabilidad del estudio y se cumple fielmente el código de ética de investigación aprobado por RDU N° 260-2019-CU y la directiva N° 004-2022-R, establecidas por la Universidad Nacional del Callao.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos.

#### 5.1.1. Resultados experimentales del tratamiento de agitación manual

Los experimentos realizados a través de agitación manual usando cáscara de Limón como adsorbente natural reticulado y sin reticular, mostraron una alta reducción de Plomo en todos los tratamientos teniendo una concentración inicial de la solución sintética de 20 mg/L de Plomo, estos resultados se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados de la matriz experimentales de los diferentes tratamientos factoriales

Tratamientos	Puntos Centrales	Tipo de adsorbente	Masa (g/L)	Tiempo (H)	Plomo residual (mg/L)	%Plomo removido
1	1	Sin reticular	15	1	1.58	92.10%
2	0	Sin reticular	10	2	5.7	71.50%
3	0	Reticulado	10	2	0.49	97.55%
4	1	Sin reticular	15	1	2.54	87.30%
5	1	Reticulado	5	1	3.48	82.60%
6	1	Reticulado	5	1	3.34	83.30%
7	1	Sin reticular	15	1	3.17	84.15%
8	1	Reticulado	15	3	0.97	95.15%
9	1	Reticulado	5	1	6.18	69.10%
10	1	Sin reticular	5	3	4.29	78.55%
11	1	Reticulado	15	3	0.33	98.35%
12	1	Reticulado	15	3	0.76	96.20%
13	1	Sin reticular	5	3	3.09	84.55%
14	1	Sin reticular	5	3	3.45	82.75%

En la Tabla 4 se muestra la máxima remoción de Plomo, al ser sometidas a diferentes dosis de limón reticulado y no reticulado a diferentes horas y masa de dosificación, tiene un máximo de remoción de 98.53% y 69.1% con un promedio de 85.94%.

**Tabla 4. Resultado descriptivos de la remoción de Plomo**

Variable Dependiente	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
% Plomo removido	14	85.94	0.0919	69.10	98.35

En la Tabla 5 se muestra que la máxima remoción de Plomo que fue de 98.35% a 15 g de cáscara de Limón y el mínimo fue de 69.91% a 5g.

**Tabla 5. Resultado descriptivo de la remoción de Plomo en función del indicador Masa**

Variable	Masa (g)	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
%Plomo removido	5 g	80.14	0.0577	69.10	84.55
	10 g	84.50	0.184	71.50	97.60
	15 g	92.21	0.055	84.15	98.35

En la Tabla 6 se muestra que la máxima remoción de Plomo que fue por la cascara de Limón reticulada de 98.35% y el mínimo fue de 69.91%.

**Tabla 6. Resultado descriptivo de la remoción de Plomo en función del tipo reticulado y sin reticular**

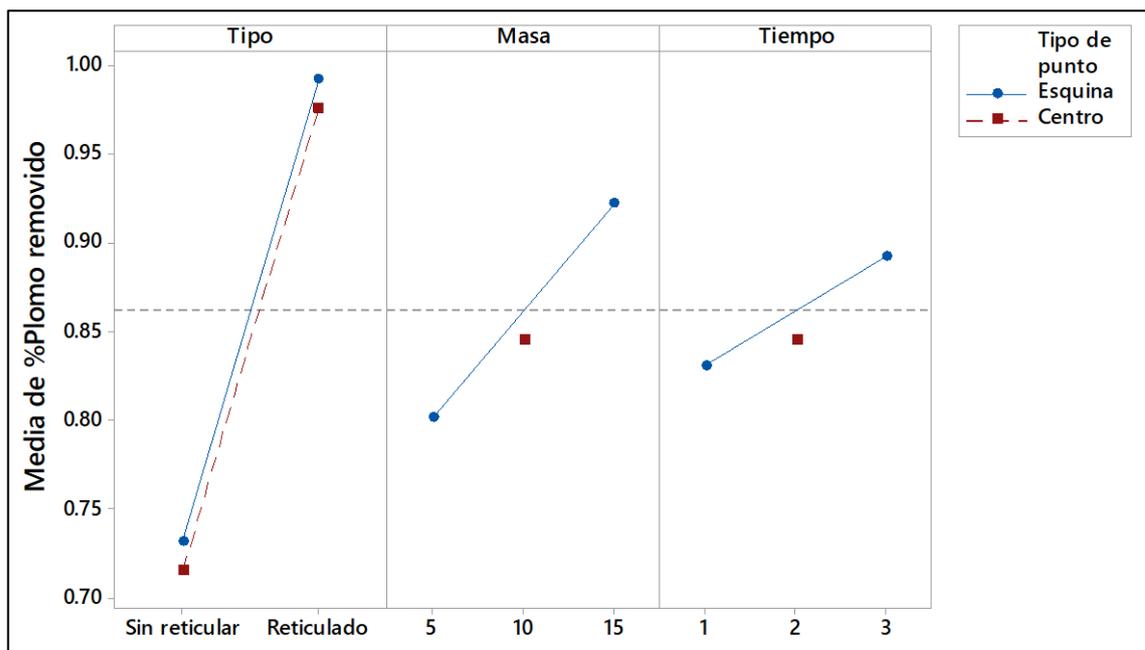
Variable	Tipo	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
%Plomo removido	Sin reticular	82.99	0.0655	71.50	92.10
	Reticulado	88.89	0.1095	69.10	98.35

En la Tabla 7 se muestra que la máxima remoción de Plomo que fue por la cascara de Limón reticulada de 98.35% y el mínimo fue de 69.91% para las 3 horas de absorción.

**Tabla 7.** Resultado descriptivo de la remoción de Plomo en función del tiempo de adsorción

Variable	Tiempo	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
%Plomo removido	1 h	83.09	0.0769	69.10	92.10
	2 h	84.50	0.184	71.50	97.60
	3 h	89.26	0.083	78.55	98.35

La Figura 10 muestra los efectos de los indicadores de estudio como el tipo de activación (reticulado y sin reticular) la dosis de la masa y el tiempo de adsorción. Según la figura 10, todos los indicadores tienen un efecto positivo el tiempo y la masa tienen mayor efecto.



**Figura 10.** Efectos de los diferentes indicadores de estudio sobre el % de remoción de Plomo

La Figura 11 muestra que la interacción de la masa y el tiempo tiene un efecto significativo en la remoción de Plomo (%).

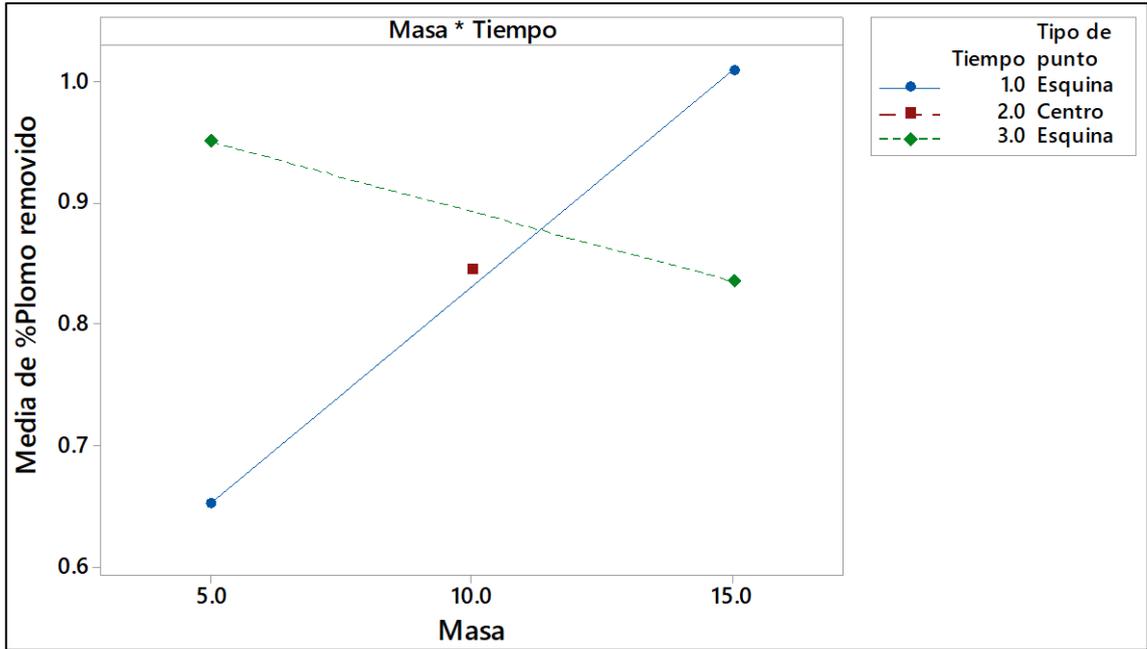


Figura 11. Efectos de la interacción de los indicadores de estudio sobre el % de remoción de Plomo

## 5.2. Resultados Inferenciales.

### 5.2.1. Análisis de la Normalidad

Para los datos experimentales obtenidos se ha desarrollado el análisis de la normalidad. La figura 6 muestra que la distribución de los datos de la remoción de %Plomo se asimila a una distribución Gaussiana.

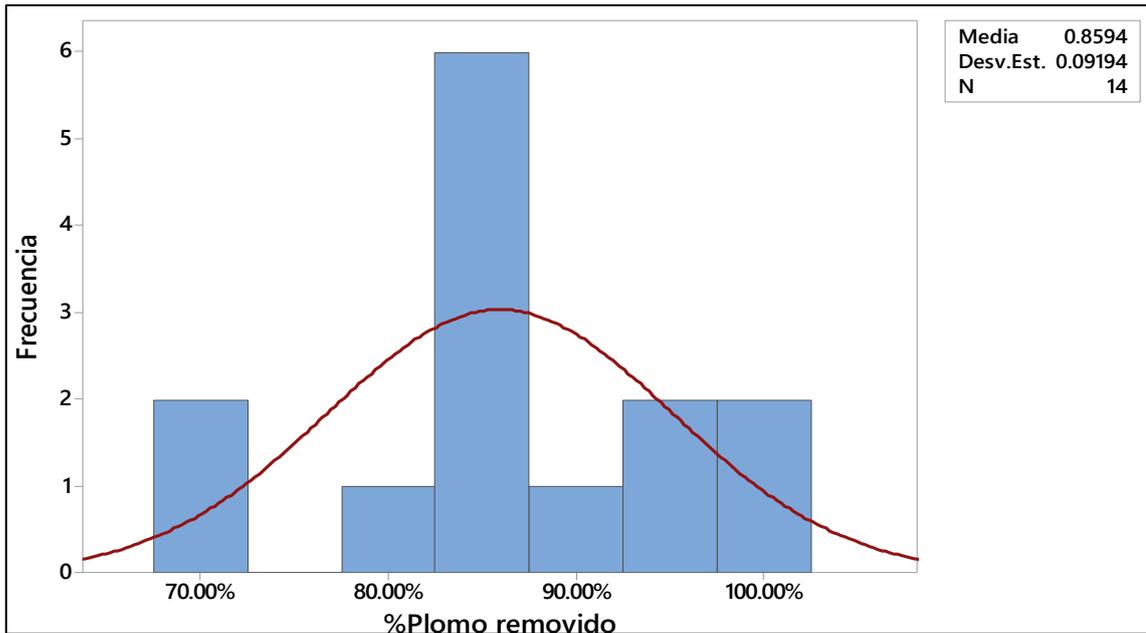


Figura 12. Histograma y la normalidad

Para verificar la prueba de normalidad se ha desarrollado la prueba de Barlett, la Figura 7 muestra que la prueba de normalidad tiene un  $p < 0.401$ , cumpliendo la normalidad.

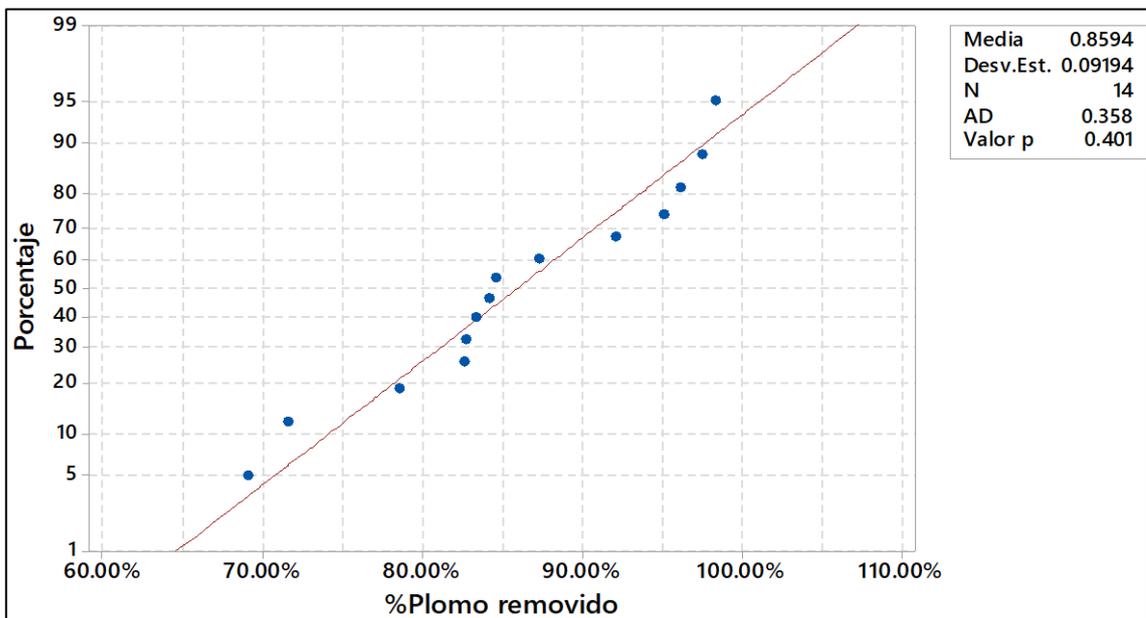


Figura 13. Prueba de normalidad

### 5.2.2. Análisis de la homogeneidad de varianza

Para la prueba del supuesto de la Homogeneidad de varianza de los diferentes indicadores de estudio, se ha desarrollado la prueba de Levene, donde se muestra un  $p < 0.744$  donde no existe una homogeneidad de varianza confirmando el supuesto.

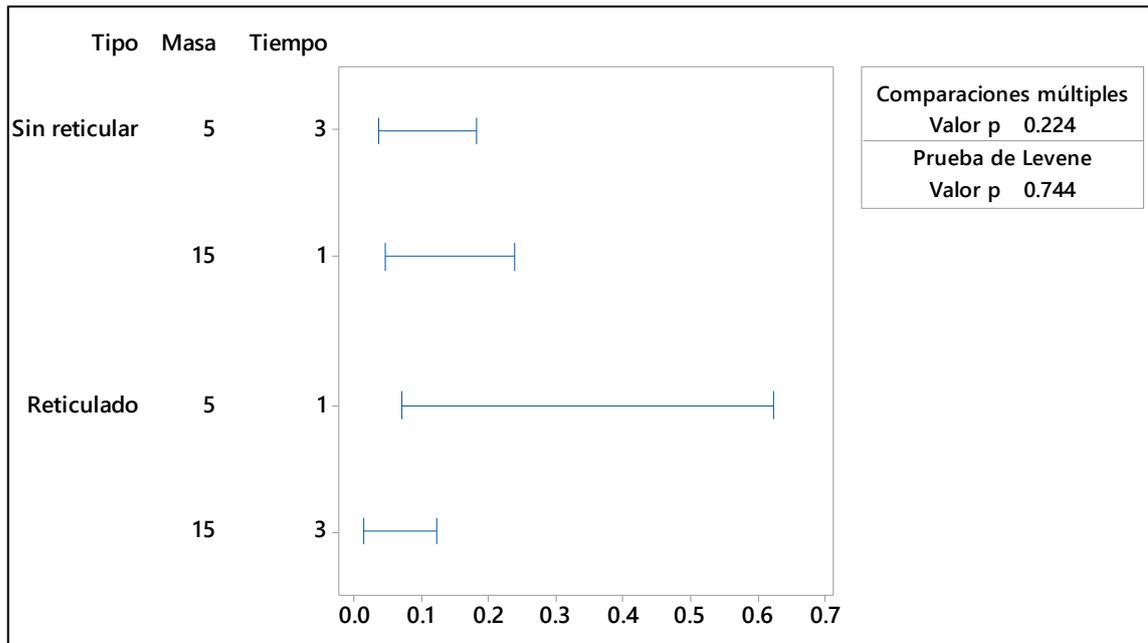


Figura 14. Prueba de homogeneidad de varianza

### 5.2.3. ANOVA de la remoción de plomo

El valor F del modelo para la Remoción de plomo (Tabla 8) es 7.93 con un valor de significancia de  $p < 0,05$ , lo cual indica que el análisis de la varianza del modelo es significativo para explicar que la capacidad de bioadsorción a partir de cáscara de limón sutil tiene un efecto significativo en la variación de la remoción de plomo con una contribución del 83.21%.

Las variables como tipo de activación y masa tienen una significancia  $p < 0.05$ , por lo que estos factores tienen un efecto significativo en la remoción de plomo con una contribución del 11.11% y 39.75% respectivamente. Por otro lado, el factor tiempo tiene una significancia  $p > 0.05$ , lo cual indica que el análisis de varianza no tiene un efecto significativo para explicar la remoción de plomo con

una contribución del 10.38%. Sin embargo, la interacción de los factores masa y tiempo tienen una significancia  $p < 0.05$ , por lo que la interacción de estos factores tiene un efecto significativo en la variación de la remoción de plomo con una contribución del 21.54%.

**Tabla 8. Matriz ANOVA de la remoción de plomo**

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.091437	83.21%	0.091437	0.018287	7.93	0.006
Lineal	3	0.067303	61.25%	0.08902	0.029673	12.87	0.002
Tipo	1	0.012213	11.11%	0.03393	0.03393	14.72	0.005
Masa	1	0.043681	39.75%	0.043681	0.043681	18.94	0.002
Tiempo	1	0.011408	10.38%	0.011408	0.011408	4.95	0.057
Interacciones de 2 términos	1	0.023668	21.54%	0.023668	0.023668	10.26	0.013
Masa*Tiempo	1	0.023668	21.54%	0.023668	0.023668	10.26	0.013
Curvatura	1	0.000467	0.42%	0.000467	0.000467	0.2	0.665
Error	8	0.018446	16.79%	0.018446	0.002306		
Total	13	0.109884	100.00%				

#### 5.2.4. Ajustes de los diseños factoriales

En la Tabla 9 se observa que el valor de  $R^2=0,83$  está en razonable concordancia con el valor de  $R^2_{adj}=0,73$ , teniendo una diferencia menor a 0,5, esto implica que este indicador de ajuste global del modelo es adecuado, es decir, el modelo ha demostrado explicar el 83% del comportamiento observado en la capacidad de bioadsorción utilizando cáscara de limón para la remoción de plomo.

**Tabla 9.** *Indicadores de ajuste del diseño factorial del experimento*

Indicadores	Indicadores
$R^2$	0.8321
Adjusted $R^2$	0.7272

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Las pruebas de hipótesis se discutirán en función de los datos obtenidos en los resultados del análisis ANOVA obtenido por cada parámetro de respuesta.

#### 6.1.1. Contrastación con la hipótesis general

**H<sub>0</sub>:** La capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) no influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

**H<sub>1</sub>:** La capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

Según la Tabla 8 se observa que la capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) tiene un efecto positivo y significativo sobre la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto ( $p < 0.05$ ) con una contribución de 83.21%. Por lo tanto, **se rechaza la Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>) y se acepta hipótesis alternativa**, confirmando así la hipótesis planteada sobre la influencia de la capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

#### 6.1.2. Contrastación con la hipótesis específica 1

**H<sub>0</sub>:** El tipo de activación de la cáscara de limón no influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

**H<sub>1</sub>:** El tipo de activación de la cáscara de limón influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

Según la Tabla 8 se observa que el factor tipo de activación de la cáscara de limón tiene un efecto positivo y significativo sobre la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto ( $p < 0.05$ ) con una contribución de 11.11%; por lo tanto, se rechaza la Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>) y se acepta hipótesis alternativa, confirmando así la hipótesis planteada sobre la influencia del tipo de activación en la remoción del plomo.

### 6.1.3. Contrastación con la hipótesis específica 2

**H<sub>0</sub>:** La masa de la cáscara de limón no influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

**H<sub>1</sub>:** La masa de la cáscara de limón influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

Según la Tabla 8 se muestra que el factor masa de la cáscara de limón ya sea de manera individual o sus interacciones tiene un efecto positivo y significativo sobre la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto ( $p < 0.05$ ); por lo tanto, **se rechaza la Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>) y se acepta hipótesis la alternativa**, confirmando así la hipótesis planteada sobre la influencia del factor masa de la cascara de limón en la remoción del plomo.

### 6.1.4. Contrastación con la hipótesis específica 3

**H<sub>0</sub>:** El tiempo de contacto no influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

**H<sub>1</sub>:** El tiempo de contacto influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.

Según la Tabla 8 se muestra que el factor tiempo de contacto de la cascara de limón de manera individual no tienen un efecto positivo y significativo sobre la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto ( $p > 0.05$ ); por lo tanto, se **rechazar la Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>) y se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>)**, negando así la hipótesis planteada inicialmente sobre la influencia del factor tiempo de la cascara de limón en la remoción del plomo.

## 6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

La presente investigación coincide con los autores Verdugo (2017); Leon et al. (2016); Ortiz et al. (2019) y Salas et al. (2017), en la metodología aplicada de nivel explicativo, ya que se aplicaron el mismo proceso para la activación, pero se usaron distintas frutas o vegetales para la obtención del bioadsorbente.

Por otro lado, con respecto a la unidad de análisis de Salas et al. (2017); Ortiz et al. (2019); Tejada et al. (2016) y Collantes (2019), los resultados

obtenidos por estos autores con respecto a la remoción de plomo son mayor al 90% coincidiendo con nuestra investigación, indicar que en su mayoría lo prepararon con cítricos como la naranja que por su naturaleza son cítricos favorecen a la capacidad adsorbente.

Indicar en el estudio de Leon et al. (2016) y Tejada (2016), que la cascara de naranja como bioadsorbente, donde se obtuvo la mayor remoción de plomo que fue de 96,61% y 99.2% respectivamente, ambos reticularon el insumo orgánico, igual a una de las condiciones de nuestro tratamiento donde se obtuvo de la mayor remoción.

El menor porcentaje de remoción de  $Pb^{+}$  se obtuvo del estudio Verdugo (2017), donde se removió solo un 71% de  $Pb^{+}$ , en este estudio usaron la cascara de mandarina para la obtención del bioadsorbente, en comparación con nuestro estudio que usamos el limón sutil para la preparación del bioadsorbente donde se removió el plomo en un 98.35%.

El limón sutil como adsorbente es mucho mejor para la remoción de plomo en comparación con el zuro de maíz y cascara de mandarina de acuerdo a los estudios de Tejada et al. (2016) y Verdugo (2017) respectivamente.

El mayor porcentaje de remoción de plomo se dio cuando la cáscara de limón sutil se encontraba reticulada en comparación con la cáscara de limón sutil sin reticular, donde se puede deducir mientras la cáscara se encuentre activada químicamente favorecerá la remoción del plomo en agua, esto de acuerdo al estudio de Salas et al. (2017).

### **6.3. Responsabilidad ética**

Los autores de la presente tesis titulada **“CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN CON CÁSCARA DE LIMÓN SUTIL (*Citrus aurantifolia*) PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUAS SINTÉTICAS A NIVEL PILOTO”**, se responsabilizan por la información emitida en la presente investigación, estando de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de la Investigación de la UNAC, Resolución de Consejo Universitario N°260-2019-CU., donde se señala los principios éticos como norma de comportamiento

conductual, por ello los tesisistas son responsables de los procesos y procedimientos de diseño, desarrollo de nuestra investigación.

## VII. CONCLUSIONES

- Se logró determinar de qué manera la capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) tuvo una influencia en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto. Los resultados mostraron que la remoción máxima de porcentaje de bioadsorción fue de plomo 98.35%, con cáscara reticulada, con 15 g/L y 3 horas de tiempo de contacto con un grado de significancia de la influencia ha sido determinada con la prueba estadística ANOVA con un  $p < 0.05$ .
- Se logró determinar la influencia del tipo de activación de la cascará de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto. Los resultados mostraron que el tipo de activación de la cáscara de limón sutil tiene una influencia con un grado de significancia estadística de  $p < 0.05$ , en la remoción de plomo en aguas sintéticas. Este estudio resalta la importancia de considerar el tipo de activación de la cáscara de limón sutil en la remoción de plomo, ya que su contribución fue del 11.11%.
- Se logró determinar la influencia de la masa de la cáscara de limón sutil en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto. Los resultados mostraron que la masa de la cáscara de limón sutil tiene una influencia significativa en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto con un nivel de contribución de 39.75%. Además, se encontró que la interacción de la variable tiempo de contacto y la masa tienen una significancia estadística con un valor  $p < 0.05$ , lo que indica que estos factores tienen un efecto significativo en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.
- Se logró determinar la influencia del tiempo de contacto en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto. Los resultados mostraron que el tiempo de contacto de la cáscara de limón sutil no muestra una influencia significativa en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto, con una contribución del 10.38% y un p-valor mayor a 0.05 en el análisis de varianza.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda desarrollar las pruebas de adsorción mediante una mejora en metodología de agitación usando un tes-jar, esto permitiría incrementar la eficiencia en la absorción del limón en metales pesados.
- Se recomienda para la mejora para el tipo de activación incluir el indicador del tamaño del material, la bibliografía menciona un importante aporte del tamaño material, esto permitiría maximizar la capacidad de bioadsorción en metales pesados.
- Se recomienda emplear otros tipos de cascaras de cítricos, y desarrollar una caracterización inicial de microscopia de barrido electrónico (SEM), estos análisis permiten estudiar el cambio morfológico de las cascaras en la absorción de los metales pesados.
- Se recomienda incluir el factor de pH para mejorar el indicador tiempo de contacto, según la literatura científica el pH permitiría reducir el tiempo de contacto y potenciaría la absorción de metales pesados.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABU-DANSO, Emmanuel, PERÄNIEMI, Sirpa, LEIVISKÄ, Tiina y BHATNAGAR, Amit, (2018). Synthesis of S-ligand tethered cellulose nanofibers for efficient removal of Pb(II) and Cd(II) ions from synthetic and industrial wastewater. *Environmental Pollution*, vol. 242, pp. 1988-1997. ISSN 0269-7491. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.044>.

ACOSTA DE ARMAS, María Margarita y MONTILLA PEÑA, Joanna Ximena, (2011). Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río Bogotá. ,

AHMAD, Mahtab, USMAN, Adel R.A., LEE, Sang Soo, KIM, Sung-Chul, JOO, Jin-Ho, YANG, Jae E. y OK, Yong Sik, (2012). Eggshell and coral wastes as low cost sorbents for the removal of Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup> from aqueous solutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 18, no. 1, pp. 198-204. ISSN 1226-086X.

AMIRI, Saba, ASGHARI, Alireza, VATANPOUR, Vahid y RAJABI, Maryam, (2021). Fabrication of chitosan-aminopropylsilane graphene oxide nanocomposite hydrogel embedded PES membrane for improved filtration performance and lead separation. *Journal of Environmental Management*, vol. 294, pp. 112918. ISSN 0301-4797. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112918>.

BADUI, S., *Química de los Alimentos (4ta Ed. ed.)*. S.l.: s.n. (2006).

BALALI-MOOD, Mahdi, NASERI, Kobra, TAHERGORABI, Zoya, KHAZDAIR, Mohammad Reza y SADEGHI, Mahmood, (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in pharmacology*, pp. 227. ISSN 1663-9812.

BEHAR, D., (2008). *Introducción a la metodología de la investigación. sf: Edición: A.* 2008. S.l.: Rubeira.

BELLOT, Ilicia, MOLLINEDO, Patricia, GEMIO, Rómulo, MORALES, Isabel y

MORAES, Mónica, (2011). 16\_FUNGI CHLOROPHENOL DEGRADATION \_ Enhanced Reader.pdf. *Revista Boliviana de Química*, vol. 28.

CARDENAS JAVIER, Mirko Alberto y ULLOA ALFARO, Mike Paolo, (2013). *Determinación de capacidad de bioadsorción de plomo divalente empleando Pennisetum clandestinum Hochst (Kikuyo) como adsorbente a nivel laboratorio* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú. Disponible en: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2187/Cardenas Javier - Ulloa Alfaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2187/Cardenas%20Javier%20-%20Ulloa%20Alfaro.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

CHEN, Feiyun, WU, Qiuping, LÜ, Qiufeng, XU, Yali y YU, Yan, (2015). Synthesis and characterization of bifunctional mesoporous silica adsorbent for simultaneous removal of lead and nitrate ions. *Separation and Purification Technology*, vol. 151, pp. 225-231. ISSN 1383-5866.

CHEN, Quanyuan, YAO, Yuan, LI, Xinying, LU, Jun, ZHOU, Juan y HUANG, Zhaolu, (2018). Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 26, pp. 289-300. ISSN 2214-7144. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.003>.

CHOUMANE, R. y PEULON, S., (2021). Development of an efficient electrochemical process for removing and separating soluble Pb(II) in aqueous solutions in presence of other heavy metals: Studies of key parameters. *Chemical Engineering Journal*, vol. 423, pp. 130161. ISSN 1385-8947. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130161>.

COLLANTES ZEGARRA, Lissette, (2019). *Capacidad biosorbente de plomo de la cáscara de naranja (Citrus sinensis (L.) Osbeck) y la vaina de taya (Caesalpinia spinosa (Molina) Kuntze)*. S.I.: Universidad Nacional de Cajamarca.

CRITTENDEN, J.C., TRUSSELL, R.R., HAND, D.W..., HOWE, K.J. y TCHOBANOGLOUS, G., *Water treatment principles and design*. Third. New Jersey: s.n. (2005). ISBN 9781626239777.

CRUZ, Holanda I., JAVIER, Mayela S., LUIS, Dulce I., GIL, María de J., PÉREZ, Alma D. y GOCHI-PONCE, Y., (2017). Remoción de plomo en agua a partir de

material nanoestructurado, nanotubos de carbono soportados en zeolita natural. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, vol. 8, no. 2, pp. 21-27. ISSN 0718-8706.

DAS, Pinnanath Neethu, JITHESH, Kavil y RAJ, Kovummal Govind, (2021). Recent developments in the adsorptive removal of heavy metal ions using metal-organic frameworks and graphene-based adsorbents. *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 98, no. 11, pp. 100188. ISSN 0019-4522.

ESPINOZA PINZÓN, Adriana Vanessa, (2019). *Evaluación de la cáscara de piña (ananás comosus) deshidratada, como biosorbente de metales pesados en aguas residuales sintéticas*. S.l.: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química.

FISZMAN, S.M., (1989). Propiedades funcionales de los hidrocoloides polisacáridos: mecanismos de gelificación. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos*, vol. 29, no. 4, pp. 415-429. ISSN 0034-7698.

GAO, Baojiao, GAO, Yuechao y LI, Yanbin, (2010). Preparation and chelation adsorption property of composite chelating material poly (amidoxime)/SiO<sub>2</sub> towards heavy metal ions. *Chemical Engineering Journal*, vol. 158, no. 3, pp. 542-549. ISSN 1385-8947.

GARCÉS, Luz y COAVAS, Susana, (2012). *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de Naranja modificada con quitosano para la remoción de Cr (VI) en aguas residuales*. S.l.: Universidad de Cartagena.

GARCÍA VILLEGAS, Víctor R., YIPMANTIN OJEDA, Andrea G., GUZMÁN LEZAMA, Enrique G., PUMACHAGUA HUERTAS, Rodolfo y MALDONADO GARCÍA, Holger J., (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 77, no. 3, pp. 173-181. ISSN 1810-634X.

GODIYA, Chirag B., CHENG, Xiao, LI, Dawei, CHEN, Zhan y LU, Xiaolin, (2019). Carboxymethyl cellulose/polyacrylamide composite hydrogel for cascaded treatment/reuse of heavy metal ions in wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 364, pp. 28-38. ISSN 0304-3894. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.076>.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar, (2014). *Metodología de la investigación*, editorial Mcgraw Hill. 2014. S.I.: México, DF.

HIRST, J. y JONES, K.N., (1988). *The chemistry of pectis materials and advances carbohydrate chemistry*. 1988. S.I.: New Jersey: Franklin Publishing.

INEI, (2018). Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2018. . Lima:

JANATI, Somayeh Sadat Fakoor, BEHESHTI, Hamed Reza, FEIZY, Javad y FAHIM, Niloofar Khoshbakht, (2012). Chemical composition of lemon (Citrus limon) and peels its considerations as animal food. *Gida*, vol. 37, no. 5, pp. 267-271. ISSN 1300-3070.

JENA, Swarnabala y SAHOO, Rajesh Kumar, (2017). Removal of Pb (II) from aqueous solution using fruits peel as a low cost adsorbent. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 5-13.

KHOSRAVI, Rasoul, MOUSSAVI, Gholamreza, GHANEIAN, Mohammad Taghi, EHRAMPOUSH, Mohammad Hassan, BARIKBIN, Behnam, EBRAHIMI, Ali Asghar y SHARIFZADEH, Gholamreza, (2018). Chromium adsorption from aqueous solution using novel green nanocomposite: adsorbent characterization, isotherm, kinetic and thermodynamic investigation. *Journal of Molecular Liquids*, vol. 256, pp. 163-174. ISSN 0167-7322.

LAURA TICONA, Virginia Esmeralda, (2018). *Estudio de la determinación de la actividad floculante en aguas provenientes del Río Chili conteniendo As, Pb y Cr tratados con Pectina obtenidos a partir de la cáscara de naranja, limón y mandarina*. S.I.: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

LAZO, Roberto, (2015). *Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco*. S.I.: Universidad Nacional del Callao.

LEDINGHAM, Greg J., PAN, Weiyi, GIAMMAR, Daniel E. y CATALANO, Jeffrey G., (2022). Exchange of adsorbed Pb (II) at the rutile surface: rates and mechanisms. *Environmental Science & Technology*, vol. 56, no. 17, pp. 12169-12178. ISSN 0013-936X.

LEON, Julie Elizabeth Samaniego, ARZAMENDIA, Adriano R. y AYALA, María

José, (2016). Remoción de Hierro y Plomo en aguas Residuales por Bioadsorción de la Cáscara de Naranja Agria. *Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico*, no. 10, pp. 69-75. ISSN 2078-7928.

LIU, Lingqin, HUANG, Yaji, ZHANG, Shuping, GONG, Yan, SU, Yin Hai, CAO, Jianhua y HU, Huajun, (2019). Adsorption characteristics and mechanism of Pb (II) by agricultural waste-derived biochars produced from a pilot-scale pyrolysis system. *Waste Management*, vol. 100, pp. 287-295. ISSN 0956-053X.

LUO, Xuewen, SHEN, Minxian, HUANG, Zhujian, CHEN, Zihao, CHEN, Ziyang, LIN, Bingjia y CUI, Lihua, (2020). Efficient removal of Pb(II) through recycled biochar-mineral composite from the coagulation sludge of swine wastewater. *Environmental Research*, vol. 190, pp. 110014. ISSN 0013-9351. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110014>.

MARTINS, Luís F.G., PARREIRA, M. Cristina B., RAMALHO, João P. Prate., MORGADO, Pedro y FILIPE, Eduardo J.M., (2015). Prediction of diffusion coefficients of chlorophenols in water by computer simulation. *Fluid Phase Equilibria*, vol. 396, pp. 9-19. ISSN 0378-3812. DOI 10.1016/J.FLUID.2015.03.026.

MUÑOZ CARPIO, Juan Carlos, (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada*. S.I.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ÑAUPAS, Humberto, MEHÍA, Elías, NOVOA, Eliana y VILLAGÓMEZ, Alberto, *Metodología de la investigación Cuantitativa-cualitativa y redacción de la Tesis*. 4 Edición. Bogotá: s.n. (2014). ISBN 978-958-762-188-4.

ORTIZ SÁNCHEZ, Eliza Yisabel y VEGA CALERO, Lady Germania, (2019). *Estudio de la bioadsorción de metales pesados (Pb y Cu) en las aguas del río Puyango, utilizando cáscara de naranja y plátano manzano*. S.I.: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.

PAYTAN MONTAÑEZ, Tulio Celestino, (2021). *Adsorción de plomo (II) usando cáscara de plátano (Musa paradisiaca) en aguas contaminadas*. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú.

PENG, Weijun, HAN, Guihong, CAO, Yijun, SUN, Kaige y SONG, Shaoxian, (2018). Efficiently removing Pb(II) from wastewater by graphene oxide using foam flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 556, pp. 266-272. ISSN 0927-7757. DOI <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.08.043>.

PINZÓN-BEDOYA, Martha Lucia y VERA VILLAMIZAR, Luz Estella, (2009). Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de naranja. *Dyna*, vol. 76, no. 160, pp. 95-106. ISSN 0012-7353.

QU, Jianhua, MENG, Qingjuan, LIN, Xiufeng, HAN, Wei, JIANG, Qun, WANG, Lei, HU, Qi, ZHANG, Lin y ZHANG, Ying, (2021). Microwave-assisted synthesis of  $\beta$ -cyclodextrin functionalized celluloses for enhanced removal of Pb(II) from water: Adsorptive performance and mechanism exploration. *Science of The Total Environment*, vol. 752, pp. 141854. ISSN 0048-9697. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141854>.

RAIZE, Ofer, ARGAMAN, Yerachmiel y YANNAI, Shmuel, (2004). Mechanisms of biosorption of different heavy metals by brown marine macroalgae. *Biotechnology and bioengineering*, vol. 87, no. 4, pp. 451-458. ISSN 0006-3592.

SADASIVAM, Bala Yamini y REDDY, Krishna R., (2015). Adsorption and transport of methane in landfill cover soil amended with waste-wood biochars. *Journal of environmental management*, vol. 158, pp. 11-23. ISSN 0301-4797.

SALAS PALOMINO, Pamela Rosabel y SARCCO VILLANUEVA, Lizbeth, (2017). *Eliminación de plomo (II) y hierro (II), por bioadsorción con cáscara de naranja (citrusx sinensis) en residuos líquidos procedentes del laboratorio químico de Southern Perú*. S.l.: s.n.

STEIERT, John G. y CRAWFORD, Ronald L., (1985). Microbial degradation of chlorinated phenols. *Trends in Biotechnology*, vol. 3, no. 12, pp. 300-305. ISSN 0167-7799. DOI 10.1016/0167-7799(85)90032-0.

TALIO, María Carolina, PEREYRA, Fernando, ACOSTA, Mariano y FERNÁNDEZ, Liliana P., (2019). Lead monitoring and control in tobacco products and E-cigarettes by molecular fluorescence. *Microchemical Journal*, vol.

147, pp. 1-6. ISSN 0026-265X.

TEJADA TOVAR, Candelaria, HERRERA, Adriana y NÚÑEZ ZARUR, Juan, (2016). Remoción de plomo por biomasas residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 19, no. 1, pp. 169-178. ISSN 0123-4226.

VERDUGO VERGARA, José Francisco, (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (Citrus reticulata var. Clementina)*. 2017. S.l.: s.n.

VILLANUEVA, Claudia y TAPIA, Nelson, (2005). Bioadsorción de Cu (II) por biomasas que contienen pectina. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 8, no. 1, pp. 11-15. ISSN 1609-7599.

VILLANUEVA, Claudia y TAPIAN, N., (2007). Biosorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de *Citrus sinensis* (naranja), *Citrus limonium* (limón) y *Opuntia ficus* (palmeta de nopal). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima*,

WANKAT, Phillip C. y Y POZO, Virgilio González, *Ingeniería de procesos de separación*. S.l.: Pearson Educación. (2008). ISBN 9702612810.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

"Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto"					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACIÓN
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis General</b>		<b>Tipo</b>	<b>POBLACIÓN</b>
¿En qué medida la capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?	Determinar de qué manera la capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.	Hi: La capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.	<b>X= Variable Independiente</b> <b>Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil</b>	El tipo de investigación es aplicada, dado que se basa en los resultados de la investigación básica y está orientada a resolver los problemas ambientales (Naupas, et al. 2014).	Cáscara de limón recolectado de las cevicherías del Megamercado Huamantanga en Puente Piedra  6 L de aguas sintéticas que se preparan a una concentración de plomo a 20 ppm.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Dimensión</b> <b>X<sub>1</sub>: Proceso fisicoquímico</b> <b>Indicadores</b> <b>I<sub>1</sub>: Tamaño de la partícula</b> <b>I<sub>2</sub>: Masa de la cáscara de limón</b> <b>I<sub>3</sub>: Tiempo de contacto</b>  <b>Y= Variable dependiente:</b> <b>Remoción de plomo.</b>	<b>Nivel</b>	<b>MUESTRA</b>
¿En qué medida el tipo de activación de la cáscara de limón sutil influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?	Determinar la influencia del tipo de activación de la cáscara de limón sutil ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.	Hi.1: El tipo de activación de la cáscara de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.		Explicativo, el cual al ser un estudio altamente estructurados pretende determinar la relación causal de los eventos y fenómenos de cualquier índole (Hernández, et al. 2014).	5 kg de cáscara de limón
¿En qué medida la masa de la cáscara de limón sutil en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?	Determinar de qué manera la masa de la cáscara de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.	Hi.2: La masa de la cáscara de limón ( <i>Citrus aurantifolia</i> ) influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.	<b>Dimensión</b> <b>Y<sub>1</sub>: Proceso fisicoquímico</b> <b>Indicadores</b> <b>I<sub>1</sub>: Porcentaje de remoción de plomo</b>	Esta investigación es diseño experimental	Corresponde a las muestras de 200 mL de aguas sintéticas con plomo, preparadas en el laboratorio de análisis químico, a partir de agua destilada y el Nitrato de Plomo
¿En qué medida el tiempo de contacto influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto?	Determinar de qué manera el tiempo de contacto influenciará en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.	Hi.3: El tiempo de contacto influirá en la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto.		Para demostrar la hipótesis y desarrollar la metodología se emplearán métodos cuantitativos.	

## Anexo 2. Autorización de uso de laboratorio SQA SAC

### AUTORIZACIÓN DE LABORATORIO

Lima 8 de junio del 2023

Por medio del presente, yo, **César Frank Martínez Linares** identificado con Documento de Identidad N° **48084460**, representante legal de la empresa **SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC** y propietario del inmueble ubicado en **Calle Simón Grados 781, Los Olivos**, autorizo prestar mis instalaciones expresamente a los señores:

- JAHIR WALTER HUAMAN SOTELO DNI: 70364761
- MANUEL ALEXANDER PEREZ APARICIO DNI: 61787897

Con el fin que desarrollen su tesis titulada "CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN CON CÁSCARA DE LIMÓN SUTIL (*Citrus aurantifolia*) PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO EN AGUAS SINTÉTICAS A NIVEL PILOTO".

A tal efecto, declaro expresamente mi autorización para que realicen su etapa experimental en mis instalaciones.

Atentamente:

  
Inca Frank Martínez Linares  
GERENTE GENERAL  
SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

### Anexo 3. Registro fotográfico en laboratorio







# Anexo 4. Certificado de calibración de equipos empleados.



## CERTIFICADO DE CALIBRACION

### N° 017-2023

**SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC**

**1. Solicitante:** SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES

**2. Lugar de calibración:** Instalaciones del Laboratorio de Metrología de SQA.

**3. Datos del Instrumento:**

<p><b>Equipo:</b> BALANZA</p> <p><b>Marca:</b> JIMBAL</p> <p><b>Procedencia:</b> CHINA</p> <p><b>Modelo:</b> BJ5</p> <p><b>Serie:</b> C/1000</p> <p><b>Rango:</b> 0 - 500g</p> <p><b>Resolución:</b> 0.01g</p> <p><b>Tipo de indicación:</b> Analógica</p>	
--	--

**4. Procedimiento:** Para la Calibración se siguió el procedimiento midiendo seis patrones con valores definidos.

**5. Resultado de mediciones:**

Masa Patrón (g)	Masa Medida (g)	Variación máxima permitida	Conclusión
1	1.01	± 5%	Dentro del rango
2	2.00	± 5%	Dentro del rango
5	5.02	± 5%	Dentro del rango
10	10.01	± 5%	Dentro del rango
20	20.00	± 5%	Dentro del rango
50	50.02	± 5%	Dentro del rango

**6. Observaciones y recomendaciones:**

- Solicitar una evaluación semestral del instrumento para verificar el estado de sus componentes internos.
- Recomendamos utilizar el equipo en el rango de cumplimiento [1 - 50] g, ya que en valores mayores no puede asegurarse la exactitud de los valores medidos.

**Fecha de Calibración: 14 de junio 2023**  
**Fecha de Emisión de Constancia: 15 de junio 2023**  
**Elaborado por Tec. Ingeniería Electrónico: Ronny Miguel Jara Caballero**





**Ronny Jara Caballero**  
Especialista Técnico  
Jefe de Servicio Técnico

**"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACION CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME LEY"**

Calle Simón Grados N° 781 Urb Villa Sol, Los Olivos - Lima Lima, Perú.  
 Email: [ventas@sqaperu.com](mailto:ventas@sqaperu.com)  
[www.sqaperu.com](http://www.sqaperu.com)



# CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 003-2023

**SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC**

1. **Solicitante:** SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES

2. **Lugar de calibración:** Instalaciones del Laboratorio de Metrología de SQA.

3. **Datos del Instrumento:**

**Equipo:** FLOCULADOR  
**Marca:** FRATELLI ALLI  
**Procedencia:** ITALIA  
**Modelo:** GFLOKUALSXXX  
**Serie:** 35.389  
**Rango:** [20 - 300] rpm  
**Resolución:** No indica  
**Tipo de indicación:** Analógica

4. **Procedimiento:** Para la Calibración se siguió el procedimiento midiendo las velocidades con un tacómetro, utilizando un rango de variación de [20 - 300] rpm

5. **Resultado de mediciones:**

Velocidad de perilla	Velocidad estándar (rpm)	Velocidad medida (rpm)	Variación máxima permitida	Conclusión
10	30	32	± 5	Dentro del rango
20	60	62	± 5	Dentro del rango
40	120	124	± 5	Dentro del rango
60	180	185	± 5	Dentro del rango
80	240	243	± 5	Dentro del rango
100	300	296	± 5	Dentro del rango

6. **Observaciones y recomendaciones:**

- Solicitar una evaluación semestral del instrumento para verificar el estado de sus componentes internos.
- Recomendamos utilizar el equipo en el rango de cumplimiento [20 - 300] rpm, ya que en valores mayores no puede asegurarse la exactitud de los valores medidos.

**Fecha de Calibración:** 11 de enero 2023

**Fecha de Emisión de Constancia:** 16 de enero 2023

**Elaborado por Tec. Ingeniería Electrónico: Ronny Miguel Jara Caballero**



  
**Ronny Jara Caballero**  
 Especialista Técnico  
 Jefe de Servicio Técnico

**\* EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACION CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME LEY \***

Calle Simón Grados N° 781 Urb Villa Sol, Los Olivos - Lima Lima, Perú.

Email: [ventas@sqaperu.com](mailto:ventas@sqaperu.com)

[www.sqaperu.com](http://www.sqaperu.com)



# CERTIFICADO DE CALIBRACION

## N° 016-2023

**SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC**

1. **Solicitante:** SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES

2. **Lugar de calibración:** Instalaciones del Laboratorio de Metrología de SQA.

3. **Datos del Instrumento:**

Equipo : ESTUFA  
Marca : FAITHFUL  
Procedencia : CHINA  
Modelo : WHL-25AB  
Serie : 20220110190034  
Rango : [10 - 300] °C  
Resolución : 0.1 °C  
Tipo de indicación : DIGITAL

4. **Procedimiento:**

Para la Calibración se siguió el procedimiento midiendo las temperaturas programadas y comparando la lectura del sensor con el termopar.

5. **Resultado de mediciones:**

Temperatura Programada (°C)	Temperatura del Sensor (°C)	Variación máxima permitida	Conclusión
25	25.5	± 3.5	Dentro del rango
40	40.6	± 3.5	Dentro del rango
60	61.3	± 3.5	Dentro del rango
80	81.7	± 3.5	Dentro del rango
100	101.9	± 3.5	Dentro del rango

6. **Observaciones y recomendaciones:**

- Solicitar una evaluación semestral del instrumento para verificar el estado de sus componentes internos.
- El equipo tiene ligeras variaciones de temperatura durante un tiempo, esto se debe a que tiende a estabilizarse constantemente.

**Fecha de Calibración:** 13 de junio 2023

**Fecha de Emisión de Constancia:** 14 de junio 2023

**Elaborado por Tec. Ingeniería Electrónico: Ronny Miguel Jara Caballero**



**Ronny Jara Caballero**  
Especialista Técnico  
Jefe de Servicio Técnico

**EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACION CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME LEY\***

Calle Simón Grados N° 781 Urb Villa Sol, Los Olivos - Lima Lima, Perú.

Email: [ventas@sqaperu.com](mailto:ventas@sqaperu.com)  
[www.sqaperu.com](http://www.sqaperu.com)

Anexo 5. Cadena de custodia de muestras

CC-23-022-MP-AG

01/08/2023



CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

I: 10/06/2023  
R: 12/06/2023  
I.V: 15/06/2023

**Datos del Cliente:**  
**Razón Social:** Manuel Alexander Perez Aparicio **RUC/DNI:** 61787897  
**Persona de contacto:** Manuel Alexander Perez Aparicio **Correo:** ma.perezaparicio@gmail.com  
**Nombre del proyecto:** Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón para la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto **Teléfono:** 976 056 153

**Orden de servicio:** O.S. 23-022  
**Plan de Monitoreo:** -  
**Informe de ensayo:** I.E. N° 23-022  
**Procedencia o lugar de muestreo:** Agua sintética

N° Cadena: CC N° 23-022

Item	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Clasificación		Ubicación	N° Frascos		Plomo (Pb)	Parámetros de ensayo										Parámetro In Situ				Observaciones																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
				Grupo	Subgrupo		Coordenadas UTM - WGS 84	V		P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1



**CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA**

I: 10/06/2023  
R: 12/06/2023  
I.V: 15/06/2023

**Datos del Cliente:**

Razón Social: Manuel Alexander Perez Aparicio RUC/DNI: 61787897

Persona de contacto: Manuel Alexander Perez Aparicio Correo: ma.perezaparicio@gmail.com

Nombre del proyecto: Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón para la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto Teléfono: 976 056 153

Orden de servicio: O.S. 23-022

Plan de Monitoreo: -

Informe de ensayo: I.E. N° 23-022

Procedencia o lugar de muestreo: Agua sintética

N° Cadena: CC N° 23-023

Ítem	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Descripción de la muestra				Parámetros de ensayo										Parámetro In Situ				Observaciones			
			Muestreo	Clasificación		Ubicación	N° Frascos		Plomo (Pb)	HNO3										T° (°C)		pH (U. pH)	C.E. (us/cm)	O.D. (mg/L)
				Grupo	Subgrupo		Coordenadas UTM - WGS 84	V																
1	M-11	M-23-060	F: 10/07/2023 H: 16:50	AH	BEBIDA	N: E:	X	X															Agua sintética preparada a partir de agua desionizada	
2	M-12	M-23-061	F: 10/07/2023 H: 16:55	AH	BEBIDA	N: E:	X	X															Agua sintética preparada a partir de agua desionizada	
3	M-13	M-23-062	F: 10/07/2023 H: 17:00	AH	BEBIDA	N: E:	X	X															Agua sintética preparada a partir de agua desionizada	
4	M-14	M-23-063	F: 10/07/2023 H: 17:05	AH	BEBIDA	N: E:	X	X															Agua sintética preparada a partir de agua desionizada	
			F: H:			N: E:																		
			F: H:			N: E:																		
			F: H:			N: E:																		
			F: H:			N: E:																		
			F: H:			N: E:																		

Muestreado por: ESSE LAB  Cliente

**Recepción de Muestra:**

Nombre: Fiorella Valencia

Fecha: 10/07/2023

Firma:

**Nota:**

F: Fecha	V: Vidrio	T: temperatura
H: Hora	P: Plástico	
N: Norte	C.E.: Conductividad Eléctrica	
E: Este	O.D.: Oxígeno Disuelto	

Clasificación de la matriz de agua	
Grupo	Sub grupo
AN: Agua Natural	SUPERFICIAL (Río, Laguna) SUBTERRANEA (Manantial - Termal)
AR: Agua Residual	DOMESTICA - INDUSTRIAL - MUNICIPAL
AH: Aguas para Uso y Consumo	PISCINA Y LAGUNA ARTIFICIAL BEBIDA (Potable, Mesa, Envasada)
AS: Aguas Salinas	MAR - SALOBRES - SALMUERA / AGUA INYECCION Y REINYECCION
AP: Aguas de proceso	CIRCULACION O ENFRIAMIENTO - AGUA DE CALDERAS ALIMENTACION DE CALDERAS - AGUA DE LIXIVIACION AGUA PURIFICADA - AGUA DE INYECCION Y REINYECCION

**Sello de Recepción:**

**ESSE LAB E.I.R.L.**

Fecha: 10/07/2023

Hora: 17:40

**RECIBIDO**

Observaciones:

---

## Anexo 6. Informe de ensayo del laboratorio



IE-23-022 Análisis de Metales Pesados en Agua

F.C.:10/05/2023  
F.R.:15/05/2023  
F.E.: 15/07/2023

### INFORME DE ENSAYO N° 23-022

#### Datos del Cliente :

Nombre del cliente : **Manuel Perez Aparicio**  
 Dirección del cliente : **Puente piedra - Lima**  
 Solicitado por : **Manuel Perez Aparicio**  
 Proyecto : **Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón para la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto**  
 Muestreo realizado por : **Cliente**  
 Procedencia de la muestra : **Agua Sintética**  
 Descripción : **Elaborada con nitrato de plomo a 20 ppm**  
 Cantidad de muestras y presentación : **14 muestras, en botellas de 250 ml esterilizadas**

#### Datos del Laboratorio:

Fecha de Muestreo : **10/07/2023**  
 Producto : **Agua sintética**  
 Fecha de recepción de muestra(s) : **10/07/2023**  
 Fecha de inicio del análisis : **11/07/2023**  
 Fecha de emisión del Informe : **15/07/2023**

#### I. RESULTADOS

Tipo Ensayo		M-23-0050 a M-23-0063			
Metales ICP-MS-Agua (Pb)		Agua Sintética			
Código de Cliente		-			
		Laboratorio de la empresa Soluciones Químicas Ambientales S.A.C., ubicada en Calle Simón Grados N° 781 Urb. Villa Sol. Los Olivos – Lima –Perú.			
		10/07/2023 16:00 hrs			
		Resultados			
	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	Plomo (Pb) *	
M-01	mg/L	0,003	0,01	1,58	
M-02	mg/L	0,003	0,01	5,70	
M-03	mg/L	0,003	0,01	0,49	
M-04	mg/L	0,003	0,01	2,54	
M-05	mg/L	0,003	0,01	3,48	
M-06	mg/L	0,003	0,01	3,34	
M-07	mg/L	0,003	0,01	3,17	
M-08	mg/L	0,003	0,01	0,97	
M-09	mg/L	0,003	0,01	6,18	
M-10	mg/L	0,003	0,01	4,29	
M-11	mg/L	0,003	0,01	0,33	
M-12	mg/L	0,003	0,01	0,76	
M-13	mg/L	0,003	0,01	3,09	
M-14	mg/L	0,003	0,01	3,45	

#### Leyenda:

(\*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

": No ensayado

NA: No Aplica



IE-23-022 Análisis de Metales Pesados en Agua

F.C.:10/05/2023  
F.R.:15/05/2023  
F.E.: 15/07/2023

## INFORME DE ENSAYO N° 23-022

### II - MÉTODOS Y REFERENCIAS

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Metales Totales ICP-MS- Agua (*)	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 1994	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

\*EPA\*: U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

(\*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado



IE-23-022 Análisis de Metales Pesados en Agua

F.C.:10/05/2023  
F.R.:15/05/2023  
F.E.: 15/07/2023

## INFORME DE ENSAYO N° 23-022

### III. OBSERVACIONES

El lugar en que se realizan las actividades de laboratorio fue realizada en el Laboratorio/Campo.

Para el presente informe se utilizaron los siguientes procedimientos de monitoreo P-OPE-01,P-OPE-02,P-OPE-03,P-OPE-04,P-OPE-05, P-OPE-06.

Quando se reporte la incertidumbre del resultado asociado, este se reporta utilizando un factor de cobertura de  $k=1.96$  al 95% de confianza.

Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por el INACAL-DA.

La(s) muestra(s) recepcionadas se encuentran cumpliendo lo establecido en la tabla del P-OPE-03 Métodos, preservantes y tiempo de vida.

Quím. Karina Altamirano Chacón  
C.Q.P. 1508  
Responsable de Laboratorio

ESSE ENVIRONMENTAL  
TESTING LABORATORY  
E.I.R.L.  
ESSE LAB E.I.R.L.

FIN DEL DOCUMENTO

Los resultados del presente informe de ensayo son válidos para las muestra referidas en el informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los métodos de ensayos presentados en el informe son acordes al alcance de los métodos correspondientes. El tiempo de custodia y perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra. Ante cualquier modificación o adición de muestras del método, se debe proceder con el procedimiento P-COM-01 Revisión de solicitudes, ofertas y contratos. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El informe de ensayo es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Si ESSE ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY E.I.R.L. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas. ESSE ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY E.I.R.L. Declina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de ESSE ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY E.I.R.L.