



# **UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"**



**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS.**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA**

## **TESIS**

**Influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de  
naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus lemon*) en la remoción de  
plomo de soluciones acuosas.**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. Irigoín Marrufo César Elí  
Bach. Ramírez Larreátegui Javier**

**ASESORA:**

**Dra. Barturen Quispe Ada Patricia - ORCID 0000-0003-4566-1868**

**LAMBAYEQUE-PERÚ**

**2024**

**Influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus lemon*) en la remoción de plomo de soluciones acuosas.**

**TESIS**

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

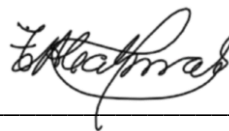
**PRESENTADO POR:**

**Bach. Irigoín Marrufo, César Elí**

**Bach. Ramírez Larreátegui, Javier**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

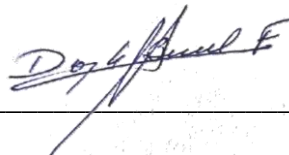
**Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazars**  
**Presidente**



**Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán**  
**Secretaria**



**Dra. Doyle Isabel Benel Fernández**  
**Vocal**



**Dra. Ada Patricia Barturen Quispe**  
**Asesora**



## **DEDICATORIA**

En primer lugar, agradecer a Dios por estar conmigo todos los días de mi vida. Además, agradezco por la claridad mental que me ha proporcionado y por haberme guiado hacia las personas que han sido un pilar fundamental durante la ejecución de este proyecto.

En segundo lugar, quiero dar gracias: A mis padres César Irigoin Diaz y Cleotilde Marrufo Llatas gracias por brindarme su ayuda y confianza en el desarrollo de mi carrera. A mi hijo César Jeampier, eres mi orgullo y mi gran motivación porque sin tu ayuda no habría logrado terminar con éxito esta tesis. Gracias a todas las personas que me ayudaron con sus conocimientos para la culminación de esta tesis.

*Atte. César Elí Irigoín Marrufo*

Dedico este trabajo de investigación a Dios, por darme la fuerza para culminar este proceso para obtener el tan anhelado título universitario, y por llenar de fe y esperanza todo el camino andado para su realización.

A mis padres, por su comprensión, sacrificio y paciencia, ya que sin su apoyo constante la presente tesis no se hubiese logrado su a floramiento.

A mis hermanas (os) por su presencia incondicional y por el apoyo moral hacia una investigación correcta y digna.

A todas aquellas que de manera directa e indirecta a influido en la realización de la presente investigación, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas de la sabiduría y compartieron sus conocimientos.

*Atte. Javier Ramírez Larreategui*

## II

### **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios porque con su sabiduría supo guiar los momentos adversos y difíciles que hemos pasado para llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

Hacer un agradecimiento especial a la Dra. Ada Patricia Barturen Quispe, por su invaluable apoyo durante todo el transcurso de la elaboración de nuestra tesis y al M.Sc. Segundo Alberto Vásquez Llanos por sus indicaciones para enriquecer y mejorar nuestro trabajo de investigación.

De igual manera al personal del laboratorio de la FIQIA, especialmente a don Floriano Saucedo Gallardo, que puso a su disposición sus instalaciones las cuales fueron clave para la realización de este trabajo de investigación.

Para ellos, muchas gracias por todo.

### III

## INDICE

Abstract .....	1
Resumen.....	2
Introducción .....	3
I. Marco Teórico.....	5
1.1. Antecedentes del problema .....	5
1.2. Base Teórica .....	6
1.2.1. Metales pesados .....	6
1.2.2. Biosorbentes.....	9
1.2.3. Biosorción por pectina .....	15
1.3. Variables.....	21
1.3.1. Variable dependiente.....	21
1.3.2. Variable independiente .....	21
1.4. Hipótesis. ....	21
1.5. Definición de Conceptos. ....	22
II. Materiales y Métodos.....	23
2.1. Localización de la Investigación .....	23
2.2. Población y Muestra .....	23
2.2.1. Población.....	23
2.2.2. Muestra.....	23
2.3. Materiales, Reactivos y Equipos .....	23
2.3.1. Material de origen biológico .....	23

## IV

2.3.2.	Materiales de Laboratorio .....	23
2.3.3.	Reactivos. .... 24	
2.3.4.	Equipos: .....	24
2.4.	Metodología de Investigación .....	25
2.5.	Preparación de las membranas para el proceso de bioadsorción. ....	26
2.5.1.	Recolección y muestreo de la cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) y cáscara de limón ( <i>Citrus lemon</i> ). ....	26
2.5.2.	Separación y limpieza del Albedo .....	26
2.5.3.	Proceso de Secado.....	26
2.5.4.	Reducción de Tamaño del Albedo .....	26
2.5.5.	Tratamiento Químico del Material Biosorbente (Desmetoxilación) .....	27
2.5.6.	Filtrado y secado .....	27
2.5.7.	Reticulado con Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).....	27
2.5.8.	Filtrado .... 28	
2.5.9.	Almacenamiento del bioadsorbente .....	28
2.6.	Determinación de pectina del material bioadsorbente .....	29
2.7.	Determinación de grupos funcionales del material bioadsorbente mediante	
	Espectroscopía Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) .....	29
2.8.	Estudio de la biosorción de Plomo .....	29
2.8.1.	Efecto del pH y el tiempo de contacto en la biosorción de plomo por membrana de naranja reticulada y membrana de limón reticulada .....	30
2.9.	Análisis de varianza (ANOVA) .....	31
III.	Resultados .....	32

3.1.	Evaluación de la pectina presente en el material bioadsorbente .....	32
3.1.1.	Determinación de la pectina presente en la membrana de naranja reticulada con cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> ).....	32
3.1.2.	Determinación de la pectina presente en la membrana de limón reticuladas con cloruro de calcio (CaCl <sub>2</sub> ).....	32
3.2.	Grupos funcionales del material bioadsorbente mediante FTIR .....	34
3.2.1.	Grupos funcionales de la membrana de naranja y membrana de naranja reticulada mediante Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).....	34
3.2.2.	Grupos funcionales de la membrana de limón y membrana de limón reticulado mediante Espectroscopia Infrarroja con trasformada de Fourier (FTIR).....	37
3.3.	Determinación fisicoquímica del material bioadsorbente .....	40
3.4.	Ensayo de remoción de Plomo de soluciones acuosas .....	41
3.4.1.	Remoción de plomo de soluciones acuosas usando cáscara de naranja reticulada.	41
3.4.2.	Remoción de plomo de soluciones acuosas usando cáscara de limón reticulada ...	44
3.5.	Pruebas estadísticas .....	46
3.5.1.	Prueba ANOVA .....	47
IV.	Discusiones .....	49
VI.	Conclusiones .....	50
VII.	Recomendaciones.....	51
VIII.	Referencias .....	52
IX.	Anexo .....	57

## VI

9.1.	Anexo A: Obtención del Material bioadsorbente.....	57
9.2.	Anexo B: Preparación de la solución acuosa de plomo .....	66
9.3.	Anexo C: Ajuste del pH de la solución de plomo .....	68
9.4.	Anexo D: Proceso de bioadsorción del plomo .....	68
9.5.	Anexo E: Propiedades fisicoquímicas de las membranas .....	70
9.6.	Anexo F: Análisis de la pectina en las membranas (cáscara de naranja y limón).....	72
9.7.	Anexo G: Concentración final de la solución de plomo .....	73
9.7.	Anexo H: Absorciones IR para grupos funcionales representativos.....	76

### Índice de Figuras

Figura 1	Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) .....	11
Figura 2	Partes de la naranja. ....	12
Figura 3	Árbol de <i>Citrus Lemon</i> .....	13
Figura 4	Partes del <i>Citrus Lemon</i> .....	15
Figura 5	Estructura molecular básica de la pectina.....	16
Figura 6	Clasificación de la pectina .....	17
Figura 7	Modelo de intercambio iónico entre el Ca (II)y Plomo (II) en solución. ....	20
Figura 8	Diagrama de las Etapas en la Metodología de la investigación.....	25
Figura 9	Proceso de desmetoxilación del material biosorbente .....	27
Figura 10	Mecanismo de reticulación de la Pectina .....	28
Figura 11	FTIR de la membrana de naranja sin tratamiento .....	34
Figura 12	FTIR de la membrana de naranja reticulada .....	35
Figura 13	FTIR de la membrana de naranja y membrana de naranja reticulada .....	36
Figura 14	FTIR de la membrana de limón .....	37
Figura 15	FTIR de la membrana de limón reticulado .....	38
Figura 16	FTIR de la membrana de limón y la membrana de limón reticulada .....	39
Figura 17	Porcentaje de remoción Vs pH y Tiempo de contacto de membrana de naranja reticulada .....	43



## VII

Figura 18 <i>Porcentaje de remoción Vs pH y Tiempo de contacto de la membrana de limón reticulado</i> .....	46
Figura 19 <i>Recepción y selección de la cascara de naranja y limón</i> .....	57
Figura 20 <i>Separación, limpieza y troceado de las cáscaras</i> .....	57
Figura 21 <i>Secado de las cáscaras de naranja y limón</i> .....	58
Figura 22 <i>Molienda de las cáscaras de naranja y limón</i> .....	58
Figura 23 <i>Pesado para el proceso de desmetoxilación</i> .....	59
Figura 24 <i>Pesado de Hidróxido de Sodio</i> .....	59
Figura 25 <i>Agitación para la desmetoxilación de las membranas</i> .....	60
Figura 26 <i>Filtrado y lavado de las membranas</i> .....	60
Figura 27 <i>Acondicionamiento para el secado de las membranas</i> .....	61
Figura 28 <i>Secado de Biomasa a 40°C por 4 horas</i> .....	61
Figura 29 <i>Reducción del tamaño de las membranas</i> .....	61
Figura 30 <i>Almacenamiento de las membranas desmetoxiladas</i> .....	62
Figura 31 <i>Pesado de la membrana para el proceso de reticulación</i> .....	62
Figura 32 <i>Pesado del cloruro de calcio</i> .....	63
Figura 33 <i>Vertido de la membrana en la solución de cloruro de calcio</i> .....	63
Figura 34 <i>Ajustado y medida del pH de la solución de Cloruro de Calcio</i> .....	64
Figura 35 <i>Proceso de reticulación de las membranas con agitación magnética por 24 horas</i> ....	64
Figura 36 <i>Filtrado de las membranas</i> .....	65
Figura 37 <i>Secado y molienda de las membranas</i> .....	65
Figura 38 <i>Tamizado y almacenamiento de la membrana</i> .....	66
Figura 39 <i>Pesado de Nitrato de Plomo</i> .....	66
Figura 40 <i>Preparación de solución de plomo</i> .....	67
Figura 41 <i>Solución de plomo</i> .....	67
Figura 42 <i>Ajuste del pH de la solución de plomo</i> .....	68
Figura 43 <i>Adsorción de las membranas bajo agitación magnética</i> .....	68
Figura 44 <i>Filtrado y almacenamiento de la solución para su posterior análisis</i> .....	69
Figura 45 <i>Almacenado de los frascos para su respectivo análisis</i> .....	69
<b>Índice de Tablas</b> .....	VI
<b>Tabla 1: Propiedades químicas de metales traza</b> .....	7

## VIII

<b>Tabla 2:</b> <i>Polímeros naturales que tienen propiedades biosorbente</i> .....	9
<b>Tabla 3:</b> <i>Composición fisicoquímica aproximada de la cáscara de naranja</i> .....	11
<b>Tabla 4:</b> <i>Valor nutritivo de la fruta de limón</i> .....	14
<b>Tabla 5:</b> <i>Porcentaje de pectina, tipo de pectina y pH de la membrana de naranja</i> .....	32
<b>Tabla 6:</b> <i>Porcentaje de pectina, tipo de pectina y pH de la membrana de limón</i> .....	33
<b>Tabla 7:</b> <i>Propiedades fisicoquímicas de la membrana de naranja reticulada</i> .....	40
<b>Tabla 8:</b> <i>Propiedades fisicoquímicas de la membrana de limón reticulada</i> .....	40
<b>Tabla 9:</b> <i>Porcentaje de remoción de plomo con membrana de naranja reticulada</i> .....	41
<b>Tabla 10:</b> <i>Promedio, desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción</i> .....	42
<b>Tabla 11:</b> <i>Porcentaje de remoción de plomo con cáscara de limón reticulada</i> .....	44
<b>Tabla 12:</b> <i>Promedio, desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción</i> .....	45
<b>Tabla 13:</b> <i>Prueba ANOVA para la membrana de naranja</i> .....	48
<b>Tabla 14:</b> <i>Prueba ANOVA para la membrana de limón</i> .....	49



## Abstract

The present research aims to evaluate the influence of pH and contact time of orange (*citrus sinensis*) and lemon (*citrus lemon*) membranes on lead removal from aqueous solutions. The membranes were demethoxylated using NaOH to increase carboxylic groups and crosslinked with CaCl<sub>2</sub> to stabilize pectin (calcium pectinate), thus improving Pb adsorption. Orange and lemon membranes were analyzed to determine pectin by the percentage of galacturonic acid and the percentage of methoxyl groups. The orange membrane has 77.2% galacturonic acid and 8.1% methoxyl groups. The lemon membrane has 78.1% galacturonic acid and 8.4% methoxyl groups. The percentage of galacturonic acid present in the orange and lemon membranes is greater than 74% and the percentage of methoxyl groups is greater than the USP-regulated 6.8%, which indicates that the orange and lemon membranes have high-methoxyl pectins. Lead adsorption was carried out using 3 pHs (4.5, 5 and 5.5) and 3 contact times (60 min, 120 min and 180 min). Water samples were analyzed using an atomic absorption spectrometer. The orange membrane (*citrus sinensis*) removed 97.5064% lead at pH 5.5 and contact time of 180 min. The lemon membrane (*citrus lemon*) removed 97.4984% lead at pH 5.5 and contact time of 180 minutes. The statistical test (ANOVA) determined that the p-value of the study variables pH, contact time and their interactions are less than 0.05 ( $p < 0.05$ ); which indicates that both pH, contact time and their interactions influence Pb bioadsorption.

**Keywords:** Bioadsorption, removal, adsorbent, membrane, pectin and lead

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de evaluar la influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de naranja (*citrus sinensis*) y limón (*citrus lemon*) en la remoción de plomo de soluciones acuosas. Las membranas fueron desmetoxilados usando NaOH

para aumentar los grupos carboxílicos y reticulados con  $\text{CaCl}_2$  para estabilizar la pectina (Pectinato de calcio), mejorando de esta manera la adsorción de Pb. Las membranas de naranja y limón fueron analizadas para determinar la pectina mediante el porcentaje de ácido galacturónico y el porcentaje de grupos metoxilos. La membrana de naranja tiene 77.2% de ácido galacturónico y 8.1% de grupos metoxilos. La membrana de limón tiene 78.1% de ácido galacturónico y 8.4% de grupos metoxilos. El porcentaje de ácido galacturónico presente en las membranas de naranja y limón son mayores a 74% y el porcentaje de grupos metoxilos son mayores a 6.8% normado por la USP, el cual indica que las membranas de naranja y limón tienen pectinas de alto metoxilo. La adsorción de plomo se llevó a cabo usando 3 pHs (4.5, 5 y 5.5) y 3 tiempos de contacto (60 min, 120 min y 180 min). Las muestras de agua se analizaron usando un espectrómetro de absorción atómica. La membrana de naranja (*citrus sinensis*) removió 97.5064% de plomo a las condiciones de pH 5.5 y tiempo contacto de 180 minutos. La membrana de limón (*citrus lemon*) removió 97.4984% de plomo a las condiciones de pH 5.5 y tiempo contacto de 180 minutos. La prueba estadística (ANOVA) determinó que el *p-valor* de las variables de estudio pH, tiempo de contacto y sus interacciones son menores a 0.05 ( $p < 0,05$ ); el cual indica que tanto el pH, tiempo de contacto y sus interacciones influyen en la bioadsorción de Pb.

***Palabras clave:*** Bioadsorción, remoción, adsorbente, membrana, pectina y plomo.

## Introducción

La contaminación de las fuentes de agua resulta de la introducción de sustancias extrañas, las cuales provienen del vertido de efluentes industriales contaminados. Además, el deterioro de los ductos y la presencia de pinturas que contienen plomo son otras fuentes potenciales de contaminación que pueden afectar los recursos hídricos. “Los animales en el medio ambiente

pueden absorber el plomo por ingesta e inhalación; la absorción del plomo es lenta y tiende a bioacumularse debido a que la excreción es aún más lenta” (Carhuas Maximiliano, 2022).

Hoy en día existen muchas técnicas para la recuperación de metales pesados como son; extracción con solventes, filtración, floculación, flotación y precipitación. Con el fin de limpiar aguas residuales y recuperar iones de metales pesados se utiliza la biosorción ya que este es un método usado en la remediación ambiental, para lo cual, se utilizan biomasas no vivas, siendo estos materiales renovables no son costosos. (Lavado et al., 2020)

La adsorción del plomo depende de muchas características como son: la liposolubilidad, aerodinámica, tamaño de partículas, etc. pero a su vez, tiene que ver el volumen de aire inspirado y el tiempo de permanencia a la exposición. “El plomo es capaz de ingresar a nuestro organismo por vía respiratoria, cutánea y oral. Por vía respiratoria el plomo ingresa desde un 50% hasta el 100% el cual se da por la difusión tras la disolución de partículas por inhalación de vapores, humos y polvos finos del plomo” (Guzmán y Rea, 2015).

El plomo es un “metal toxico, el cual puede afectar los órganos y los sistemas del cuerpo humano, principalmente el sistema nervioso, por otro lado, causa anemia y aumenta la presión sanguínea. La exposición a niveles altos de plomo causa la enfermedad llamada saturnismo y puede dañar seriamente el cerebro, los riñones y hasta causa la muerte” (Mendoza Quintos, 2018).

En la naturaleza existen muchos materiales que son usados para el proceso de bioadsorción de iones y moléculas de metales de pesados; estos materiales de origen natural lo podemos encontrar en los mares, ríos y campos. Los materiales que se pueden usar como bioadsorbentes son: algas, hongos, almidón, pectina, celulosa, agar, etc. Nuestro país es un gran productor de frutas y entre ellos están los cítricos (Limón, naranja, mandarina, etc.), por lo tanto, las cáscaras se pueden aprovechar para obtener materiales bioadsorbentes. (Calixto y Gaona, 2019)

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo de evaluar la influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de naranja (*citrus sinensis*) y limón (*citrus lemon*) en la remoción de plomo de soluciones acuosas. Las membranas fueron desmetoxilados usando NaOH para aumentar los grupos carboxílicos y reticulados con  $\text{CaCl}_2$  para estabilizar la pectina (Pectinato de calcio), mejorando de esta manera la adsorción de Pb.

## **I. Marco Teórico**

### **1.1. Antecedentes del problema**

Pérez y Huamán, (2023). En su investigación “Capacidad de Bioadsorción con cascara de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) para la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto”, utilizando una metodología de tipo aplicado con enfoque cuantitativo prepararon aguas sintéticas de Nitrato de Plomo a 20 ppm en 14 tratamientos. Lograron obtener 98,35% como máximo porcentaje de bioadsorción en un tiempo de contacto de 3 horas.

Bermeo y Calero, (2022). En su tesis “Estudio de la bioadsorción de metales pesados (Pb y Cu) en las aguas del río Puyango, utilizando cascara de naranja y plátano manzano” con el fin de calcular el poder de adsorción del polvo de la cascara de naranja para tratar aguas contaminadas por metales pesados. Utilizando una metodología que evaluó la capacidad de adsorción mediante partículas de 0.315 mm de polvo de cascara de naranja, variaron su concentración en un volumen continuo de muestra de agua, obteniendo un porcentaje de remoción de 91,60% con un pH de 4,27.

Paytan (2021) llevo a cabo una investigación titulada “Adsorción de plomo (II) usando cascara de plátano (*Musa paradisiaca*) en aguas contaminadas” , empleando la metodología de adsorción. Para ello, recolecto material biológico de la ciudad de Huancayo, en un diseño factorial experimental 2k con dos factores: el diámetro del adsorbente y pH. Los niveles de estos factores fueron tamices número 70 y 100 para el diámetro del adsorbente, y 4.0 y 6.0 para el pH respectivamente. El experimento incluyo tres repeticiones. Los resultados demuestran que la remoción con relación a la variación del pH no existe ninguna diferencia.

Calixto y Gaona (2019) realizaron una tesis titulada “Biosorción de plomo II con cascara de naranja (*Citrus sinensis*) aplicado a efluentes acuosos” con el propósito de utilizar la cantidad de pectinas en la cáscara de naranja para la biosorción de plomo (II) a  $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $P=1\text{ atm}$  de efluentes acuosos. Utilizaron una solución sintética con una concentración de 100 ppm en una columna fija de 6.5 cm de diámetro y 42.5 cm de longitud, con una capacidad de 1.41 L para un flujo continuo. La cantidad del efluente tratado fue de 4 L, y se utilizaron 153 gramos de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*). Se determinó que el equilibrio de biosorción se alcanzó después de 6 horas, con un porcentaje de remoción de Pb (II) del 91.8% a un pH de 5.

Artica y Sierra (2019). En el estudio de la “Eficiencia de la cascara de castaña y limón para la remoción de cromo y plomo en una curtiembre de ate vitarte”. Utilizaron un enfoque cuantitativo



de investigación aplicada y un diseño experimental en una muestra de 3 litros de efluente procedente de la industria de curtiembres. Los instrumentos utilizados incluyeron una ficha de muestreo, control de pH y porcentaje de remoción. Se encontró que la cáscara de limón logro una eficiencia para el plomo de 91,35% a un pH de 5 y un tiempo de contacto de 3 horas.

## **1.2. Base Teórica**

### **1.2.1. Metales pesados**

Son compuestos químicos metálicos tóxicos, venenosos y tienen una densidad relativa alta (Ordóñez Romero, 2015). Estos metales tienen pesos atómicos desde 63.55 (Cu) hasta 200.59 (Hg), con pesos específicos superiores a 4 gr/cm<sup>3</sup> (Areco, 2011).

Los metales pesados se encuentran en la corteza terrestre, no se degradan ni se destruyen. Estos metales pueden ingresar fácilmente a nuestro organismo mediante el aire, el agua, los alimentos o a través de la piel. Muchos de estos metales (cobre, selenio, cinc) son parte esencial del funcionamiento metabólico del ser vivo, pero a altas concentraciones puede causar envenenamiento (Ordóñez Romero, 2015).

La contaminación del medio ambiente por metales pesados se puede dar por las actividades mineras, industriales, agrícolas, ganaderas y por el propio tráfico. A través de estas actividades los metales pesados se van acumulando en el agua, aire y tierra los cuales son transportados a los diferentes organismos vivos (Ordóñez Romero, 2015).

Los metales tipo A se aglomeran principalmente en suelos y sedimentos debido a su naturaleza de formar cationes, estos cationes pueden reaccionar fácilmente con los iones (O<sub>2</sub>, etc.) o partículas suspendidas. Los metales del tipo B tienen una tendencia a formar compuestos

orgánicos o complejos estables lo cual favorece su transporte en ambientes acuáticos (Marshall y Espinoza, 2016).

**Tabla 1** *Propiedades químicas de metales traza*

Tipo A	Tipo B
Fe, Mn, Co, Cr	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Ag, Hg
Forma iones inorgánicos con agua de mar	Forma complejos orgánicos en agua de mar
Reacciones de partículas (precipitación, adsorción, floculación)	Reacciones biológicas (asimilación, biosorción)
Remoción por sedimentación	Removido por mareas

*Nota.* Tomado de “*Métodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados*”, p.19, Areco M., (2011). Universidad de Buenos Aires

#### **1.2.1.1. Plomo**

Es un metal pesado que se encuentra presente en la corteza terrestre (Laura Ticona, 2018), tiene un color azulado grisáceo, pero depende del mineral del que forma parte (Marshall y Espinoza, 2016).

En la naturaleza, el plomo se encuentra como componente de minerales como la galena, la cerusita y la anglesita. Con un número atómico de 82 y una masa atómica de 207.19 (uma), tiene

una densidad de 11.4 g/ml y un punto de ebullición de 1,725 °C, con un punto de fusión cercano a los 327.4 °C (Mendoza Quintos, 2018).

#### ***1.2.1.2. Efectos del Plomo Sobre la Salud***

Cuando ingresa al cuerpo humano por la inspiración de partículas finas de plomo que se encuentran en el aire, por los alimentos y el agua que se consumen. El plomo que ingresa por las vías respiratorias es del 50 al 100% (OMS, 2022).

En niños, se han detectado niveles de plomo de hasta 7 microgramos por decilitro de sangre, los cuales pueden ocasionar cambios irreversibles en su sistema neurológico. Estos niveles de plomo están asociados con una disminución de 5.8 puntos en las pruebas de coeficiente intelectual, donde 100 representa la habilidad promedio en niños (Coronel Romero, 2015).

La intoxicación o envenenamiento por plomo aumenta la presión sanguínea, causa anemia, afecta al sistema nervioso. La exposición aguda daña el cerebro, los riñones, causa el saturnismo y hasta causa la muerte (Mendoza Quintos, 2018).

#### ***1.2.1.3. Efectos Ambientales del Plomo***

La contaminación ambiental por plomo se debe principalmente por los efluentes contaminados mineros, industriales, por la corrosión de las tuberías y pinturas. Estos contaminantes llegan a los lagos, ríos y mares en los cuales los diferentes animales beben dichas aguas y son contaminados, pero también se da por inhalación de partículas suspendidas en el aire provenientes de las mineras. En estos ecosistemas contaminados la absorción es lenta llegando a bioacumularse siendo la excreción mucho más lenta que la absorción (Marshall Sánchez & Espinoza Subía, 2016).

En las aguas se encuentran organismos que bioacumulan metales pesados llegando a tener concentraciones mucho más altas a las del medio, este problema se va haciendo cada vez más grande ya que estos elementos pasan por la cadena trófica. Los procesos de bioacumulación de los

metales pesados se deben principalmente a que los organismos no pueden excretar estos contaminantes a la misma velocidad con la que se acumulan en su interior generando una retención en su interior (Pabón et al., 2020).

### **1.2.2. Biosorbentes**

Los biosorbentes pueden ser residuos de plantas, algas, hongos, bacterias, resinas, etc. Estos materiales por si solo pueden llegar a remover los metales pesados y otros compuestos, pero para lograr una mayor eficiencia son tratados químicamente con diferentes soluciones químicas el cual mejora su capacidad de adsorción.(Laura Ticona, 2028)

Los biosorbentes pueden adsorber iones de metales que se encuentran en soluciones acuosas, por este motivo son utilizados para recuperar diferentes especies metálicas como contaminantes o para recuperar metales preciosos de gran valor (Laura Ticona, 2018).

En la naturaleza se pueden encontrar diferentes polímeros como son las proteínas, carbohidratos, polisacáridos (almidón, glucósidos, celulosa, pectina, etc.) (Coronel Romero, 2015).

### **Tabla 2**

*Polímeros naturales que tienen propiedades biosorbentes*

Nombre común	Se extrae de:	Parte de donde se obtiene
Alginatos	Algas pardas marinas	Toda la planta
Pectina	Cáscara de naranja, toronja, limón, etc.	Toda la cáscara
Almidones	Maíz	El grano o el tubérculo
	Papa	
	Yuca	
	Trigo	
Pectina de Nopal	Opuntia ficus indica	Las hojas
Semillas de Nimalí	Strychnos potarum	Las semillas
Algarrobo	Quebracho, acacia o algarrobo.	Corteza del árbol
	Schinopsis Lorenrzi	
Carboximetil Celulosa	Árboles	Corteza del árbol
Goma de Guar	Cyanopsis psoralioides	Semillas

*Nota.* Tomado de “Influencia del Pre-tratamiento Fisicoquímico en la Velocidad, Eficiencia y Capacidad de Biosorción de Plomo (II) en Cáscara de Naranja (*Citrus sinensis*)”, p.21, Coronel Romero I. S., (2016). Universidad Nacional de Trujillo

En esta investigación nos centraremos principalmente en las cáscaras de los cítricos como son la naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus lemon*). Las cáscaras de estos cítricos contienen pectina específicamente en el albedo (parte blanca de la cáscara), la pectina es el componente activo el cual es usado para remover metales pesados.

#### **1.2.2.1. Naranja (*Citrus sinensis*)**

La naranja (*Citrus sinensis*) es el fruto del naranjo dulce, también llamados hespérides por que los gajos del fruto están compuestos por numerosas vesículas llenas de jugo. La coloración de la cáscara va desde verde hasta anaranjado todo depende de la variedad de la misma, el sabor del jugo de la naranja varía desde amargo hasta dulce (Guzmán Campos & Rea Rocha, 2015).

**Figura 1**

*Naranja (Citrus sinensis)*



Tradicionalmente, las cáscaras de naranja son utilizadas para obtener sus aceites esenciales como el limoneno el cual debido a su agradable fragancia es utilizado para la industria de perfumería y repostería como el limoneno. (Balarezo y Vincés, 2021)

**Tabla 3**

*Composición fisicoquímica aproximada de la cáscara de naranja*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Sólidos Solubles (°Brix)	$7,1 \pm 1,2$
pH	$3,93 \pm 0,03$
Acidez Total (g de ácido cítrico/100 mL)	$0,29 \pm 0,03$
Índice de formol	$34 \pm 2,4$
Humedad %	$85,9 \pm 1,6$
Grasa % (DM)	$1,55 \pm 0,17$
Ceniza % (DM)	$3,29 \pm 0,19$
Proteína % (DM)	$6,16 \pm 0,23$
Carbohidratos % (DM)	$89,0 \pm 1,1$
Fibra soluble % (DM)	
Azúcares Neutrales	$3,8 \pm 0,3$
Ácido urónico	$7,1 \pm 0,9$
Lignina	$3,2 \pm 0,4$
Pectina % (DM)	$17 \pm 5$

*Nota.* DM (Materia Seca) Tomado de “Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja”, p.67, por Cerón Salazar I., y Cardona Alzate C., (2011). Ingeniería y Ciencia.

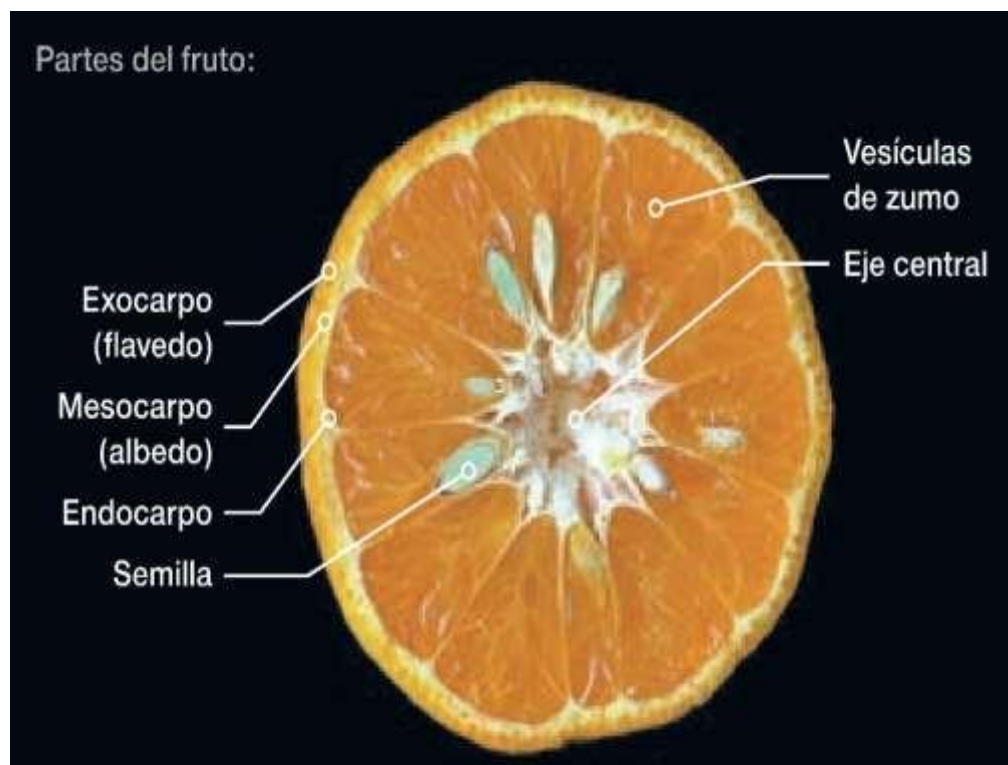
#### 1.2.2.1.1. Partes de la cáscara de naranja

El pericarpio (cáscara) está formado por el exocarpo, endocarpo y el mesocarpo.

- a) El exocarpo (flavedo), es la parte externa del fruto, tiene coloración que varía de verde hasta anaranjado el cual depende de la variedad de la misma, en esta parte de la cáscara se encuentran las glándulas de los aceites esenciales.
- b) El endocarpo, constituye parte de la membrana locular y se encuentra en la parte interna de la cáscara (Ancillo & Medina, 2014).
- c) El mesocarpo (albedo), es la capa blanca del pericarpio es ahí donde se encuentra la pectina y es considerada de gran interés dentro del campo de la sorción (Ancillo & Medina, 2014; Coronel Romero, 2016).

### Figura 2

*Partes de la naranja.*



*Nota.* Adaptado de “Los cítricos”, p.18, Ancillo G., y Medina.,(2014). Monografías botánicas.

### ***1.2.2.2. Limón (Citrus lemon)***

El limón es el fruto del limonero, este pequeño fruto es ovalado y tiene aproximadamente de 2 a 3 pulgadas de diámetro. Con su cáscara exterior de color amarillo brillante y sin hueso, al igual que la de otros cítricos, la pulpa interna del limón está recubierta en aproximadamente 8 a 10 segmentos. El limón tiene un olor característico, agrio, con un sabor ácido, ácido, ácido y astringente que es inesperadamente refrescante (Murray, Pizzorno, & Pizzorno, 2005; Valero Gaspar, Rodríguez Alonso, Ruiz Moreno, Ávila Torres, & Varela Moreiras, 2018).

**Figura 3** *Árbol de Citrus Lemon*



*Nota.* Tomado de “*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*”, p.36, Virginia Esmeralda L. T., (2018).

Universidad Nacional San Agustín.

#### ***1.2.2.2.1. Valores nutritivos de los limones***

Los limones están repletos de numerosos nutrientes beneficiosos para la salud (Tabla 4). Contienen muy poca grasa y proteínas y están formadas principalmente por hidratos de carbono (9,22%) y agua (89,15%). Los carbohidratos en los limones están compuestos principalmente de fibras solubles como la pectina (que está presente en el albedo) y azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa (Ye, 2017).



**Tabla 4** *Valor nutritivo de la fruta de limón*

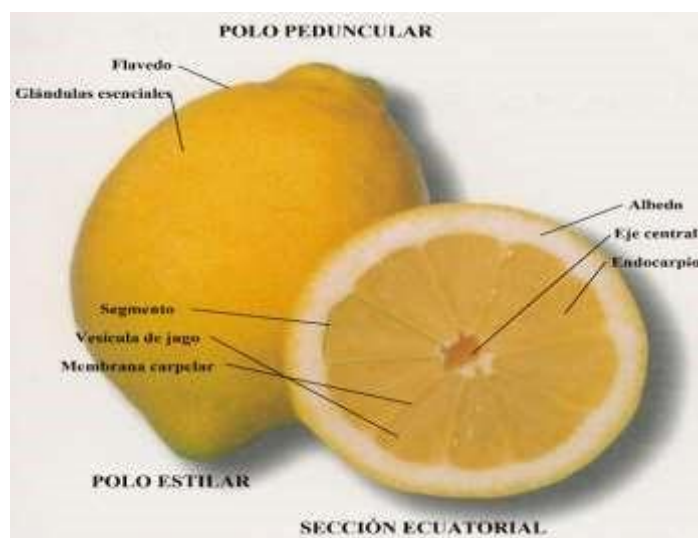
<b>Name of Component</b>	<b>Content</b>
Water (%)	89.15
Protein (g)	1.12
Carbohydrate (g)	9.22
Fiber (g)	2.70
Fat (g)	0.33
Calories (kcal)	29
Vitamin A (IU)	22.0
Thiamine (mg)	0.03
Niacin (mg)	0.11
Riboflavin (mg)	0.03
Pyridoxine (mg)	0.09
Pantothenic acid (mg)	0.18
Folates (µg)	11.6
Vitamin C (mg)	53.6
Vitamin E (mg)	0.17
Sodium (mg)	2.09
Potassium (mg)	139
Calcium (mg)	27.1
Iron (mg)	0.59
Magnesium (mg)	8.12
Zinc (mg)	0.05

*Nota.* Adaptado de “*Phytochemicals in Citrus Applications in Functional Foods*”, p.68, por Ye X.,

(2017). CRC Press Taylor & Francis Group

En la figura 4 se muestran las partes de los limones, en el cual podemos encontrar a los flavedos, glándulas esenciales, albedo, etc.

**Figura 4** *Partes del Citrus Lemon*



*Nota.* Tomado de “*El Aceite Esencial de limón producido en España. Contribución a su evaluación por Organismos Internacionales*”, p.17, Albaladejo Meroño Q., (1999).

Universidad de Murcia.

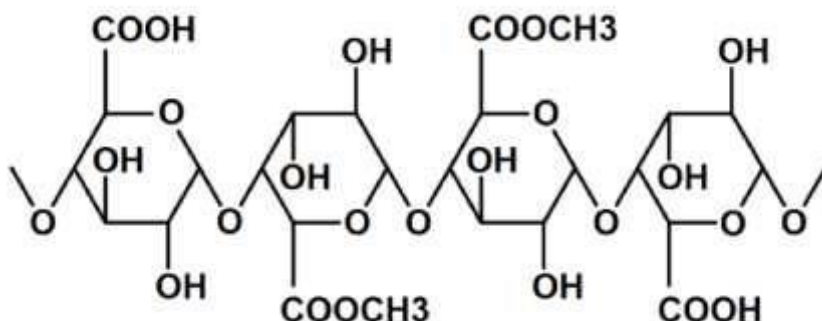
### 1.2.3. Biosorción por pectina

#### 1.2.3.1. Pectina

La pectina es un polímero que está formado por la unión de moléculas de ácido Dgalacturónico, a la pectina se le puede encontrar en la naturaleza como son los frutos (Marshall Sánchez & Espinoza Subía, 2016). La pectina está presente en las paredes celulares primarias de muchas plantas y generalmente se les encuentra asociados con la celulosa, hemicelulosa y la lignina (Laura Ticona, 2018).

Las pectinas son polímeros que se encuentran unidos por enlaces glucosídicos el cual consta de 600 a 1000 unidades monoméricas de (1,4)  $\alpha$ -D-ácido galacturónico. (Marshall Sánchez & Espinoza Subía, 2016).

**Figura 5** Estructura molecular básica de la pectina



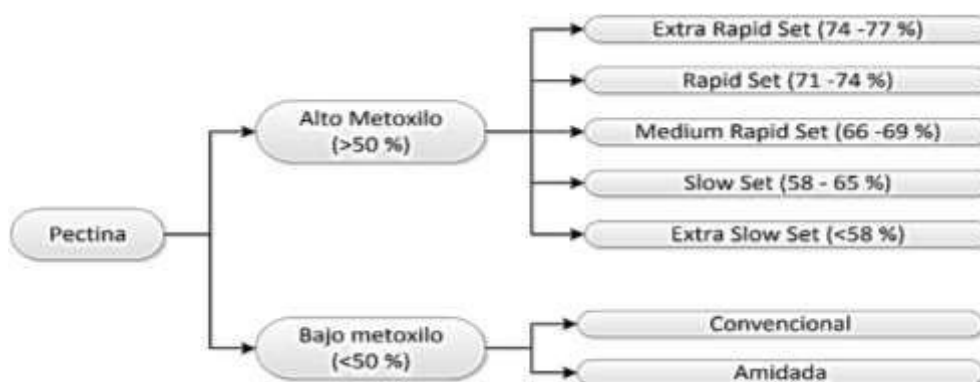
*Nota.* Adaptado de “Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)”, p.66, Zegada Franco V. Y., (2015).

Investigación & Desarrollo.

A las pectinas se las puede clasificar de dos formas: pectinas de alto metoxilo (HM), son aquellas pectinas en los cuales los grupos carboxílicos están esterificados con el radical metil el cual representan más del 50 %; las pectinas de bajo metoxilos (LM), son aquellas pectinas en los cuales los grupos carboxílicos están esterificados con el radical metil el cual representan menos del 50 % (Coronel Romero, 2016).

**Figura 6**

### *Clasificación de la pectina*



*Nota.* Adaptado de “Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)”, p.66, Zegada Franco V. Y., (2015). Investigación & Desarrollo.

#### **1.2.3.2. Factores que Afectan la Biosorción**

La remediación del ecosistema mediante los procesos de extracción sobre materiales sólidos que se usan como adsorbentes requiere de conocimientos previos en cual se ven las condiciones más favorables para dicho proceso. El proceso de adsorción se ve influenciada por las características del adsorbato y el adsorbente también se ven afectados por el pH de la solución, temperatura, tiempo de contacto, etc. (Ordóñez Romero, 2015).

La solubilidad de los metales pesados en los cuerpos de agua está mayormente regulada por el pH, la concentración de ligandos y la oxidación de los minerales. En el proceso de bioadsorción, varios factores ejercen influencia, como la temperatura del medio, el tiempo de equilibrio, la concentración del metal y la presencia de otros iones disueltos (Coronel Romero, 2016).

##### *i. Tiempo de equilibrio*

El tiempo de equilibrio es el punto en el que el material adsorbente se satura y por más tiempo que se mantenga en contacto con el adsorbente este no aumentara. Ya que en este punto ocurren los procesos de adsorción y desorción manteniéndose en equilibrio (Ordóñez Romero, 2015).

*ii. Efecto del pH*

Los mecanismos para la adsorción de metales pesados varían según la especie química que forman estos en función del pH, existe una estrecha relación entre el pH de la formación de las especies químicas con el pH para la adsorción.

El pH desempeña un papel crucial en los procesos de adsorción. En condiciones de pH bajo, la concentración de iones hidronio es alta, pero a medida que el pH aumenta, la cantidad de iones hidronio disminuye, mientras que los grupos hidroxilos aumentan, compitiendo con los iones metálicos por unirse al adsorbente. La adsorción de iones se ve favorecida cuando el pH está entre 1.5 y 4, ya que en este rango la carga negativa en la superficie del adsorbente promueve la unión con los iones metálicos. Por otro lado, la adsorción de cationes se favorece a pH superiores a 4.5 (Marshall Sánchez & Espinoza Subía, 2016).

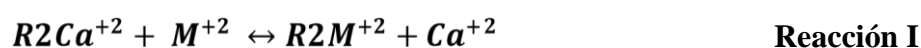
*iii. Efecto de la Temperatura*

La temperatura juega un papel fundamental en el proceso de adsorción. Su efecto sobre la especie química y el adsorbente está determinado por el calor de adsorción, es decir, el cambio de entalpía asociado al proceso (Coronel Romero, 2016).

**1.2.3.3. Equilibrio de Biosorción**

El material adsorbente muestra una alta afinidad por los iones presentes en las soluciones acuosas, lo que explica por qué los iones de metales pesados se unen rápidamente al adsorbente a través de diversos mecanismos. Este proceso de adsorción continúa hasta que se alcanza el equilibrio, en donde el adsorbente ya no puede adsorber más iones por lo tanto en este punto, el material adsorbente adsorbe iones, pero al mismo tiempo desorbe manteniéndose constante la concentración de la solución (Aguilar Salas & Flores Rodriguez, 2018).

La reacción de adsorción en el punto de equilibrio entre la fase sólida y la fase líquida se da a continuación (Coronel Romero, 2016):



Dónde:

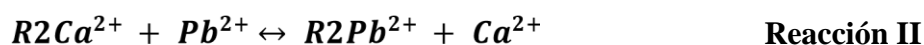
$M^{+2}$ : indica las especies metálicas en disolución

$R2Ca^{+2}$ : denota el grupo activo en la fase sólida

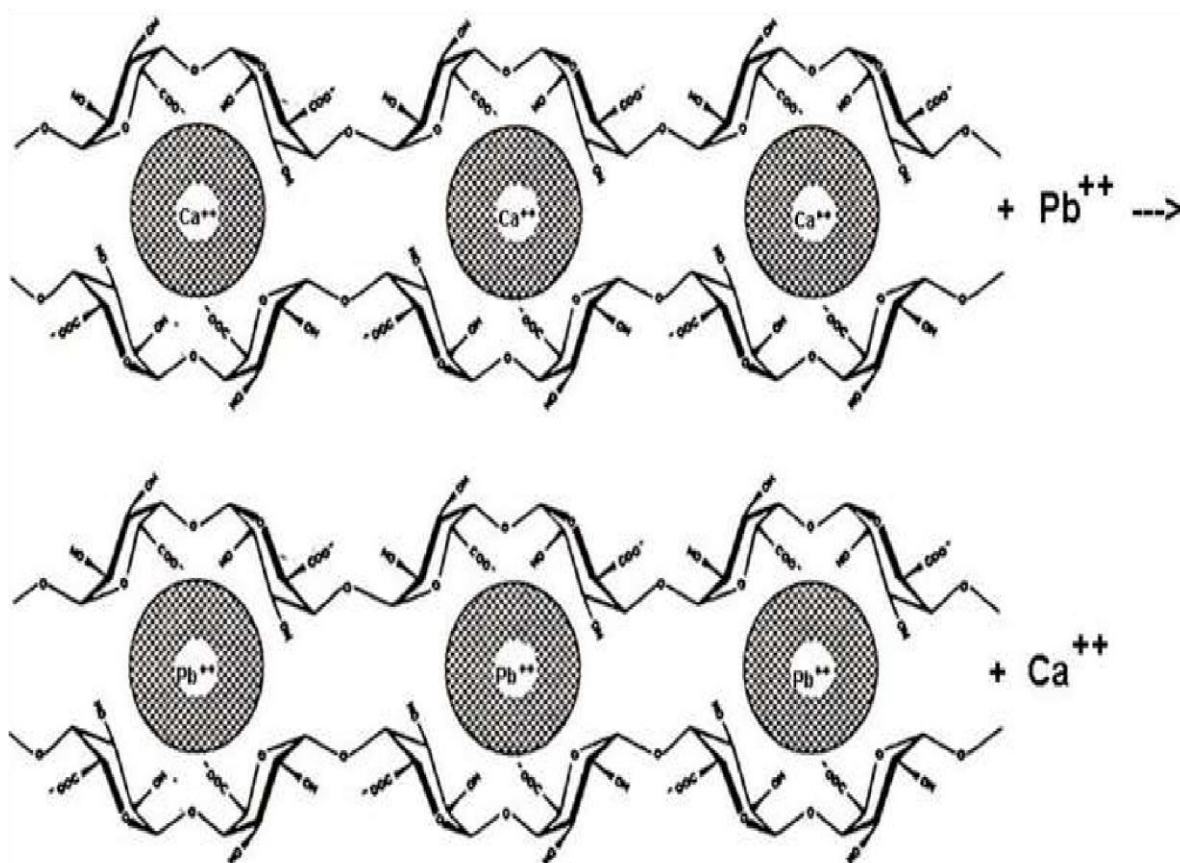
$R2M^{+2}$ : representa las especies metálicas adsorbidas por el sitio activo.

#### 1.2.3.3.1. Remoción de Plomo usando la pectina reticulada con $Ca^{2+}$

La eliminación de iones de metales pesados de soluciones acuosas por pectinas retículas con calcio se debe principalmente al intercambio iónico entre el calcio y el plomo hasta que se logra alcanzar el punto de equilibrio. En los grupos carboxílicos es en donde ocurre el desplazamiento del calcio por el plomo.



**Figura 7** Modelo de intercambio iónico entre el Ca (II) y Plomo (II) en solución.



*Nota.* Tomado de “Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja citrus sinensis pretratada”, p.22, Muñoz Carpio J. C., (2007). Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

El cálculo de la cantidad de metal removido de la solución se basa en el balance de materia del sistema, expresado en miligramos de metal por gramo de adsorbente seco. Después del proceso de adsorción muchos iones metálicos han sido retenidos en el adsorbente, pero otros no, por cual, aparecen en la solución, la cual puede ser calculada mediante la siguiente ecuación (Coronel Romero, 2016).

$$q\left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{(C_o - C_{eq})xV}{m}$$

Dónde:

$C_o$  = Concentración inicial de plomo (II) en la disolución (mg/L).

$C_{eq}$  = Concentración en equilibrio (final) de plomo (II) en la disolución (mg/L).

$V$  = Volumen de disolución (L).

$m$  = Masa de biosorbente utilizada en los ensayos (g).

### 1.3. Variables

#### 1.3.1. Variable dependiente

Porcentaje de Remoción de plomo de soluciones acuosas.

#### 1.3.2. Variable independiente

- pH de la membrana = 4,5; 5; 5,5.
- tiempo de contacto de la membrana = 60; 120; 180 minutos.

### 1.4. Hipótesis.

A medida que aumenta el pH y aumente el tiempo de contacto de la cáscara de naranja (*citrus sinensis*) y cáscara de limón (*citrus lemon*) aumentará el porcentaje de remoción de plomo de la solución acuosa.

### 1.5. Definición de Conceptos.

- **Adsorbato:** Es un compuesto, sustancia o elemento que a sido adsorbido en la superficie de un material.



- **Adsorción:** Es un proceso fisicoquímico por el cual iones, átomos, moléculas, etc. son retenidos en la superficie del adsorbente.
- **pH:** Es la medida que indica el nivel de acidez o basicidad de una disolución.
- **Reticulación:** Es un proceso químico que implica la unión de cadenas poliméricas homogéneas formando redes tridimensionales.
- **Temperatura:** Magnitud encargada de medir el calor sensible mediante un termómetro.
- **Tiempo de contacto:** Es el tiempo requerido para la interacción entre las moléculas de las sustancias químicas y el adsorbente hasta alcanzar el punto de equilibrio.
- **Pectina:** Sustancia neutra presente en varios tejidos vegetales, utilizada en la industria alimentaria para dar consistencia a mermeladas y gelatinas. También se utiliza como material adsorbente.
- **Membrana:** Material fabricado de biomasa de residuos orgánicos que se utiliza en la absorción de metales pesados.

## II. Materiales y Métodos

### 2.1. Localización de la Investigación

La investigación se realizó en el laboratorio de fisicoquímica de la facultad de Ingeniería

Química e Industrias Alimentarias de la UNPRG.

## **2.2. Población y Muestra**

### **2.2.1. Población**

El agua contaminada con plomo se preparó en el laboratorio a una concentración de 62.56 ppm y 6 litros el cual representa la población del estudio.

### **2.2.2. Muestra**

La muestra de la investigación son los 6 L de agua contaminada preparada en el laboratorio con una concentración de 62.56 ppm.

## **2.3. Materiales, Reactivos y Equipos**

### **2.3.1. Material de origen biológico**

- Membrana de Cáscara de Naranja (*Citrus sinensis*) reticulada.
- Membrana de Cáscara de Limón (*Citrus lemon*) reticulada.

### **2.3.2. Materiales de Laboratorio**

- Matraz de 2000 ml.
- Matraces Erlenmeyer de 100, 250 mL.
- Vasos de precipitado de 100, 400, 1 000 mL.
- Pipetas (5mL, 10mL, 15mL y 25 mL).
- Baguetas.
- Cinta de pH.
- Embudos de vidrio de vástago largo.
- Papel filtro Whatman N 40.
- Espátula de acero inoxidable.

- Buretas.
- Piscetas.

### **2.3.3. Reactivos.**

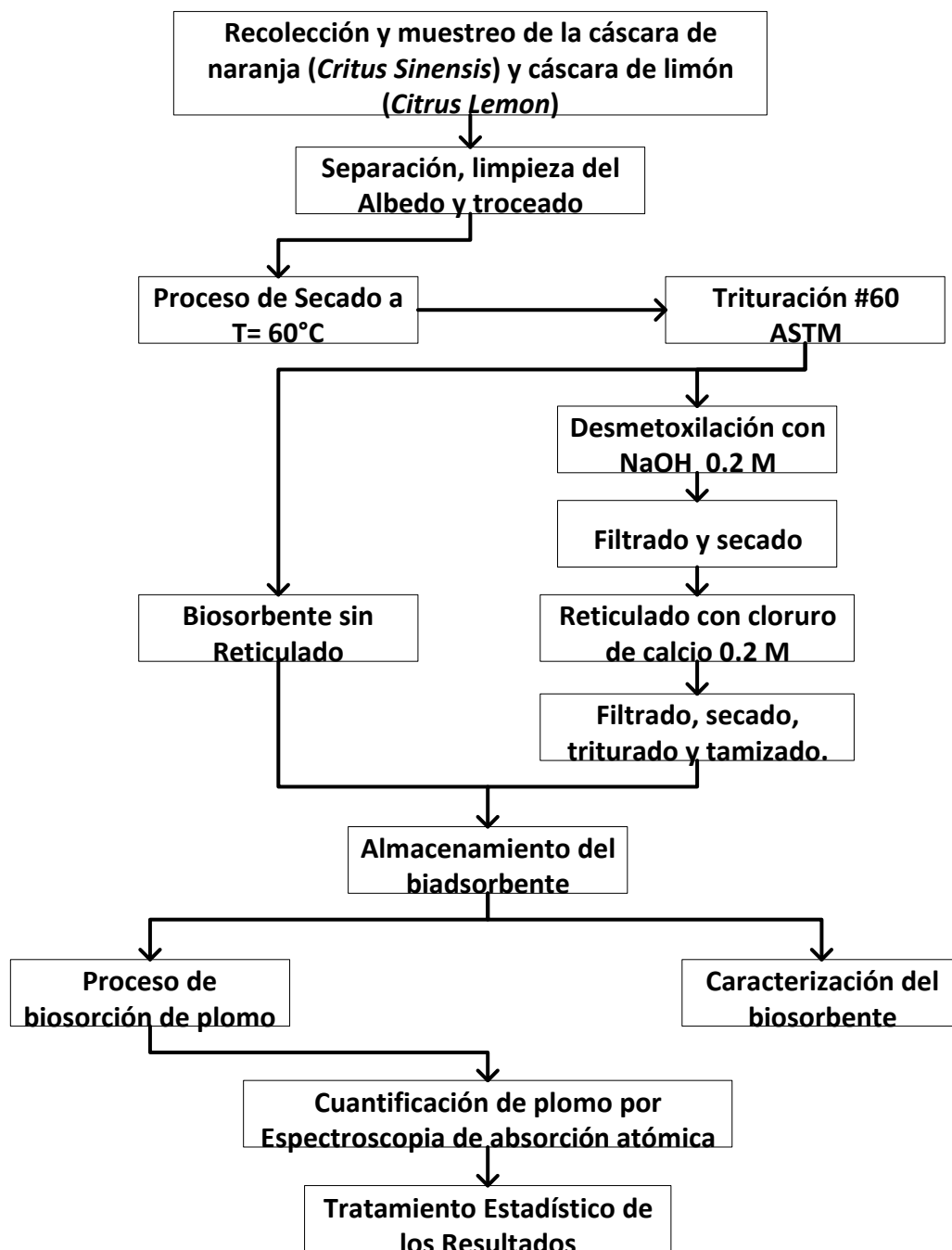
- Hidróxido de sodio 0.1 M.
- HCl 0.1 M □ CaCl<sub>2</sub> 0.2 M
- Pb (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 100 ppm.
- Agua desionizada □ Agua destilada.

### **2.3.4. Equipos:**

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
- Agitador magnético.
- Equipo de filtración.
- Balanza analítica.

## **2.4. Metodología de Investigación**

**Figura 8** *Diagrama de las Etapas en la Metodología de la investigación*



## 2.5. Preparación de las membranas para el proceso de bioadsorción.

### 2.5.1. Recolección y muestreo de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y cáscara de limón (*Citrus lemon*).

Las cáscaras de naranja y limón se recolectaron de los negocios de jugos y cevicherías, ubicados en el mercado modelo de la ciudad de Chiclayo. Las cáscaras de los cítricos se

seleccionaron teniendo especial cuidado de que no tengan hongos, partes en descomposición y partículas extrañas. Se recolectaron 4 kg de cada cítrico en una bolsa plástica hermética.

### **2.5.2. Separación y limpieza del Albedo**

Se eliminó la pulpa residual de las cáscaras de naranja y limón de manera manual, obteniendo 300 g de cada una. Posteriormente, las cáscaras se lavaron con agua destilada a una temperatura de 60°C y se agitaron magnéticamente durante 30 minutos. El propósito de este lavado era erradicar las impurezas y compuestos solubles presentes en la superficie de las cáscaras. Las cáscaras de los cítricos limpias se cortaron en aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> para facilitar el secado al sol.

### **2.5.3. Proceso de Secado**

Se realizó utilizando placas metálicas durante una semana a temperatura ambiente aprovechando la energía solar.

### **2.5.4. Reducción de Tamaño del Albedo**

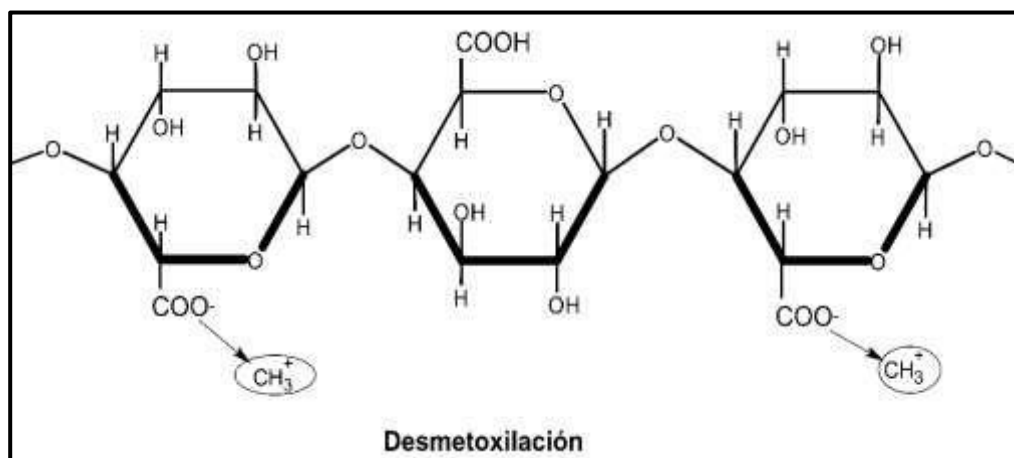
Las membranas obtenidas después del proceso de secado son sometidas a la reducción de tamaño usando un molino doméstico y tamizados hasta llegar a un tamaño que puedan pasar por una malla ASTM #60.

### **2.5.5. Tratamiento Químico del Material Biosorbente (Desmetoxilación)**

El tratamiento químico también llamado desmetoxilación consiste en aumentar el contenido de grupos carboxílicos y así favorecer la capacidad de adsorción.

La desmetoxilación se realizó mezclando 30 g de la membrana de cítricos (cáscara de naranja o cáscara de limón) en ½ L de una solución 0.2 M de NaOH, la solución es agitada durante 2 horas usando un agitador magnético, seguidas de un periodo de reposo.

**Figura 9** *Proceso de desmetoxilación del material biosorbente*



### 2.5.6. Filtrado y secado

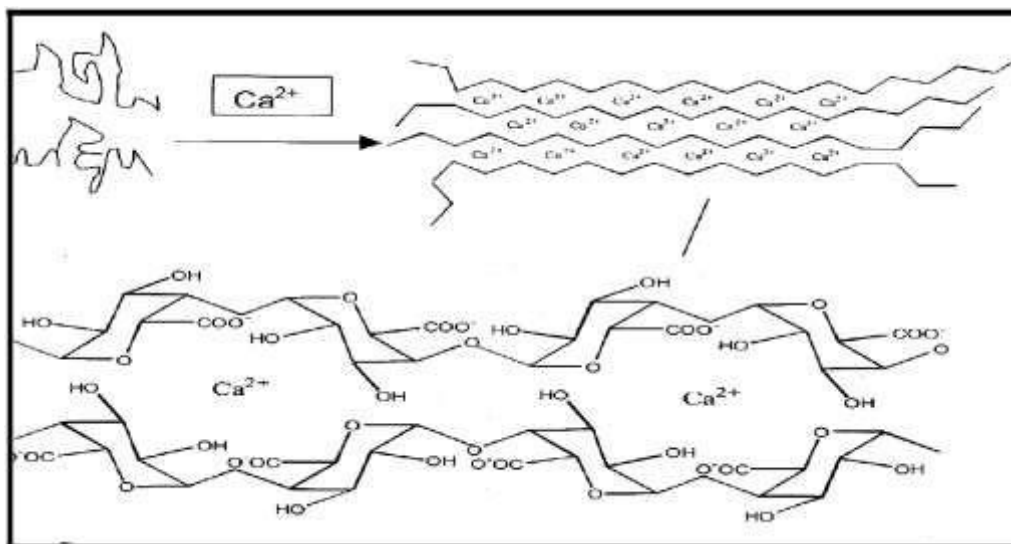
Al material desmetoxilado se filtró y realizó lavados con agua desionizada hasta eliminar el exceso de NaOH. Posteriormente se realizó el secado a 40 °C en una estufa durante 2 horas.

### 2.5.7. Reticulado con Cloruro de Calcio (CaCl<sub>2</sub>)

La reticulación implica la unión de cadenas poliméricas homogéneas formando redes tridimensionales. Este tratamiento se realiza con la finalidad de aumentar la estabilidad la membrana adsorbente.

Para poder reticular las membranas adsorbentes provenientes del proceso anterior se usó 20 g y se mezcló con 500 ml de CaCl<sub>2</sub> 0.2 M ajustando el pH a 5 con el ácido clorhídrico 0.1 M. La mezcla se agito con la ayuda de un agitador magnético durante 24 horas a 200 rpm.

**Figura 10** *Mecanismo de reticulación de la Pectina*



*Nota. Tomado de “Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “citrus sinensis” pretratada”,*

p.39, Muñoz Carpio, 2007. Universidad Nacional Mayor de San Marcos

### 2.5.8. Filtrado

El material bioadsorbente reticulado se filtró y se enjuagó varias veces con agua desionizada para eliminar el exceso de calcio. Después del filtrado, se secó a 60°C durante 6 horas en una estufa. Para el cribado, se utilizó un tamiz con una malla #40 en la parte superior y una malla #18 en la parte inferior.

### 2.5.9. Almacenamiento del bioadsorbente

El material bioadsorbente se almacena en bolsas de polietileno con la finalidad de prevenir su contaminación y estén en óptimo estado hasta la prueba.

## 2.6. Determinación de pectina del material bioadsorbente

El porcentaje de ácido galacturónico representa la masa total de los anillos de la masa total de la pectina mediante el cual se determina la pureza de la pectina. Los valores mínimos permitidos

por la FAO y la FDA son de 65 %, aunque la USP (United States Pharmacopeial Convention) ha normado que el porcentaje debe encontrarse encima del 74 %.

El porcentaje de metoxilación de la pectina, que determina sus propiedades gelificantes, se calcula como la relación entre la masa total de grupos éster metílicos y la masa total de la pectina. La USP a normado que las pectinas que contengan más de 6.7 % de grupos metoxilos son pectinas de alto metoxilo, mientras que las pectinas con menores porcentajes son llamados pectinas de bajo metoxilo (Zegada Franco, 2015).

La determinación de pectina se realizará a través de un cromatógrafo GC-MS en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo.

## **2.7. Determinación de grupos funcionales del material bioadsorbente mediante Espectroscopía Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)**

Para poder identificar los grupos funcionales de las estructuras moleculares de un compuesto que están presentes en las membranas adsorbentes, se hará uso de la técnica analítica instrumental (espectroscopia de infrarrojo). La determinación de grupos funcionales se llevara a cabo mediante Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo.

## **2.8. Estudio de la biosorción de Plomo**

Para esto se utilizó dos tipos de material bioadsorbente reticulados (cáscara de naranja y cáscara de limón).

Los experimentos se realizaron por triplicado usando 100 ml de la disolución los cuales después del proceso de adsorción son filtrado y almacenados en frascos de polietileno de 100 ml. La solución se filtró con la ayuda del equipo de filtración con bomba al vacío y papel filtro. La



solución se analizó por el método de espectroscopia de absorción atómica en los laboratorios de la universidad nacional de Trujillo.

### **2.8.1. Efecto del pH y el tiempo de contacto en la biosorción de plomo por membrana de naranja reticulada y membrana de limón reticulada**

Para determinar el efecto del pH y el tiempo de contacto de los iones de plomo sobre las membranas adsorbentes (cáscara de naranja y cáscara de limón), se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- Se agregó 100 ml a 3 erlenmeyers de una solución de plomo con una concentración de 62.56 ppm.
- Se agregó 0.7 g de membrana adsorbente a cada Erlenmeyer.
- Las soluciones se ajustaron a diferentes pHs (4.5, 5, 5.5) con ácido clorhídrico y con NaOH.
- La solución se mantuvo durante (60, 120, 180) minutos bajo agitación constante a 200 rpm.
- Se filtraron las soluciones y el filtrado resultante se utilizó para determinar la concentración de plomo mediante la técnica de absorción atómica.

Se realizaron 18 muestras con dos replicas más, con los cuales se realizó 54 muestras.

## **2.9. Análisis de varianza (ANOVA)**

Los datos fueron analizados mediante el uso del método estadístico ANOVA. El ANOVA es una herramienta usada para analizar las de los resultados obtenidos en la parte experimental del estudio.

### **III. Resultados**

#### **3.1. Evaluación de la pectina presente en el material bioadsorbente**

### 3.1.1. Determinación de la pectina presente en la membrana de naranja reticulada con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

En el análisis de la pectina se determinó el porcentaje del ácido galacturónico, el porcentaje de grupos metoxilos y el pH de la cáscara de naranja reticulada.

**Tabla 5** *Porcentaje de pectina, tipo de pectina y pH de la membrana de naranja*

Código de Muestra	Determinación	Unidades	Resultado	Norma
M1-Pectina	pH	-	2.33	-
	Ácido Galacturónico	%	77.2	> 74% (USP)
	Metoxilos	%	8.1	> 6.8% (pectinas de alto metoxilo)

*Nota.* Método: Cromatógrafo GC-MS. %error: 0.05. Fuente los autores.

En la tabla 5 podemos apreciar que el porcentaje de ácido galacturónico representa un 77.2 %, el cual es mayor al 74% normado por la USP, con lo cual indica que la sustancia presente en las membranas de naranja son pectinas de alta pureza.

A las membranas de naranja se le realizó una prueba para determinar el porcentaje de grupos metoxilos, el cual se encontró que es un 8.1%. Según lo normado por la USP los compuestos con mayor al 6.8% de grupos metoxilos, son considerados pectinas de alto metoxilo.

### 3.1.2. Determinación de la pectina presente en la membrana de limón reticulado con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

En el análisis de la pectina se determinó el porcentaje del ácido galacturónico, el porcentaje de grupos metoxilos y el pH de la cáscara de limón reticulada.

**Tabla 6** *Porcentaje de pectina, tipo de pectina y pH de la membrana de limón*

Código de Muestra	Determinación	Unidades	Resultado	Norma
M2-Pectina	pH	-	2.18	-
	Ácido Galacturónico	%	78.1	> 74% (USP)
	Metoxilos	%	8.4	> 6.8% (pectinas de alto metoxilo)

*Nota.* Método: Cromatógrafo GC-MS. %error: 0.05. Fuente los autores.

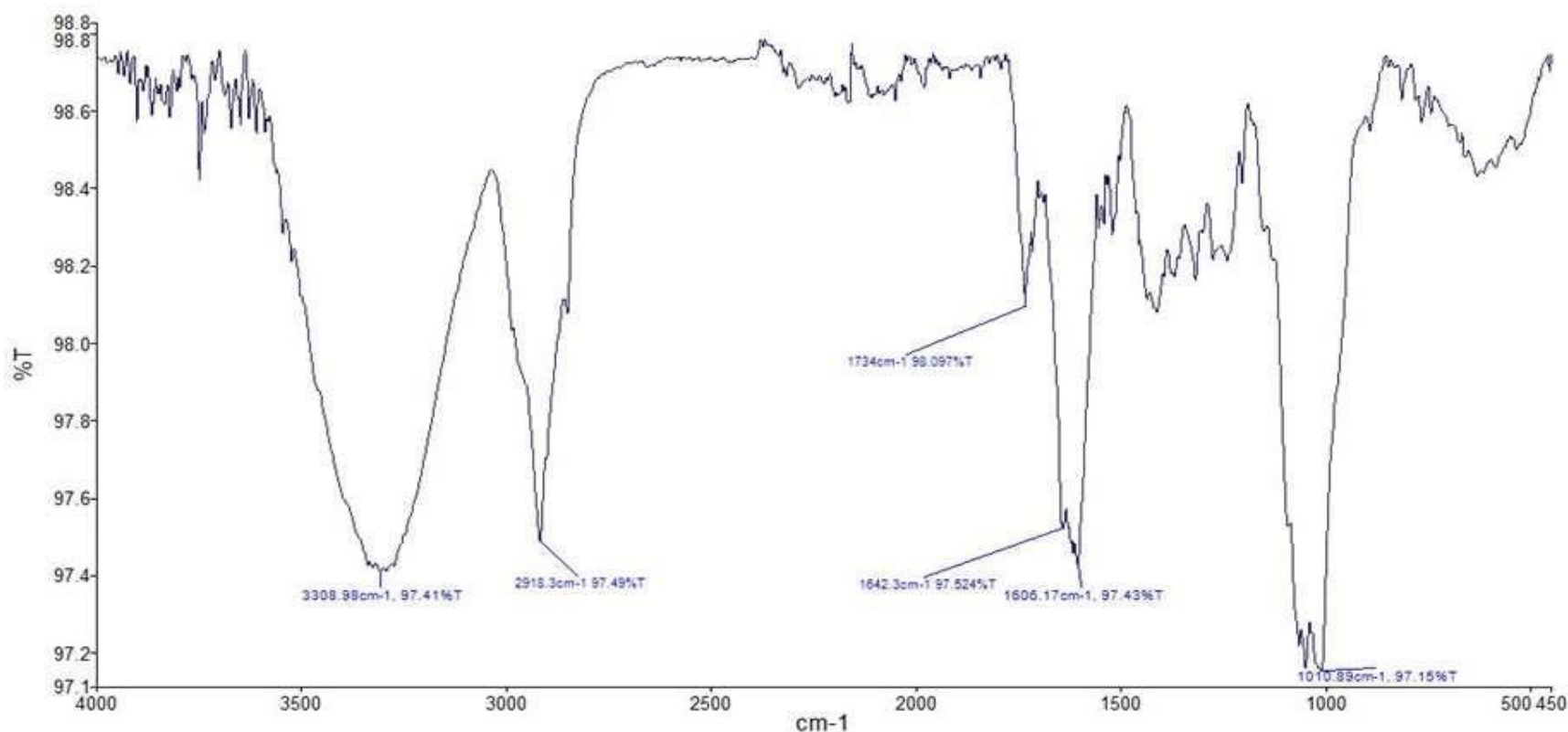
En la tabla 6 podemos apreciar que el porcentaje de ácido galacturónico representa un 78.1 %, el cual es mayor al 74% normado por la USP, con lo cual indica que la sustancia presente en las membranas de limón son pectinas de alta pureza.

A las membranas de limón se le realizó una prueba para determinar el porcentaje de grupos metoxilos, el cual se encontró que es un 8.4%. Según lo normado por la USP los compuestos con mayor al 6.8% de grupos metoxilos, son considerados pectinas de alto metoxilo.

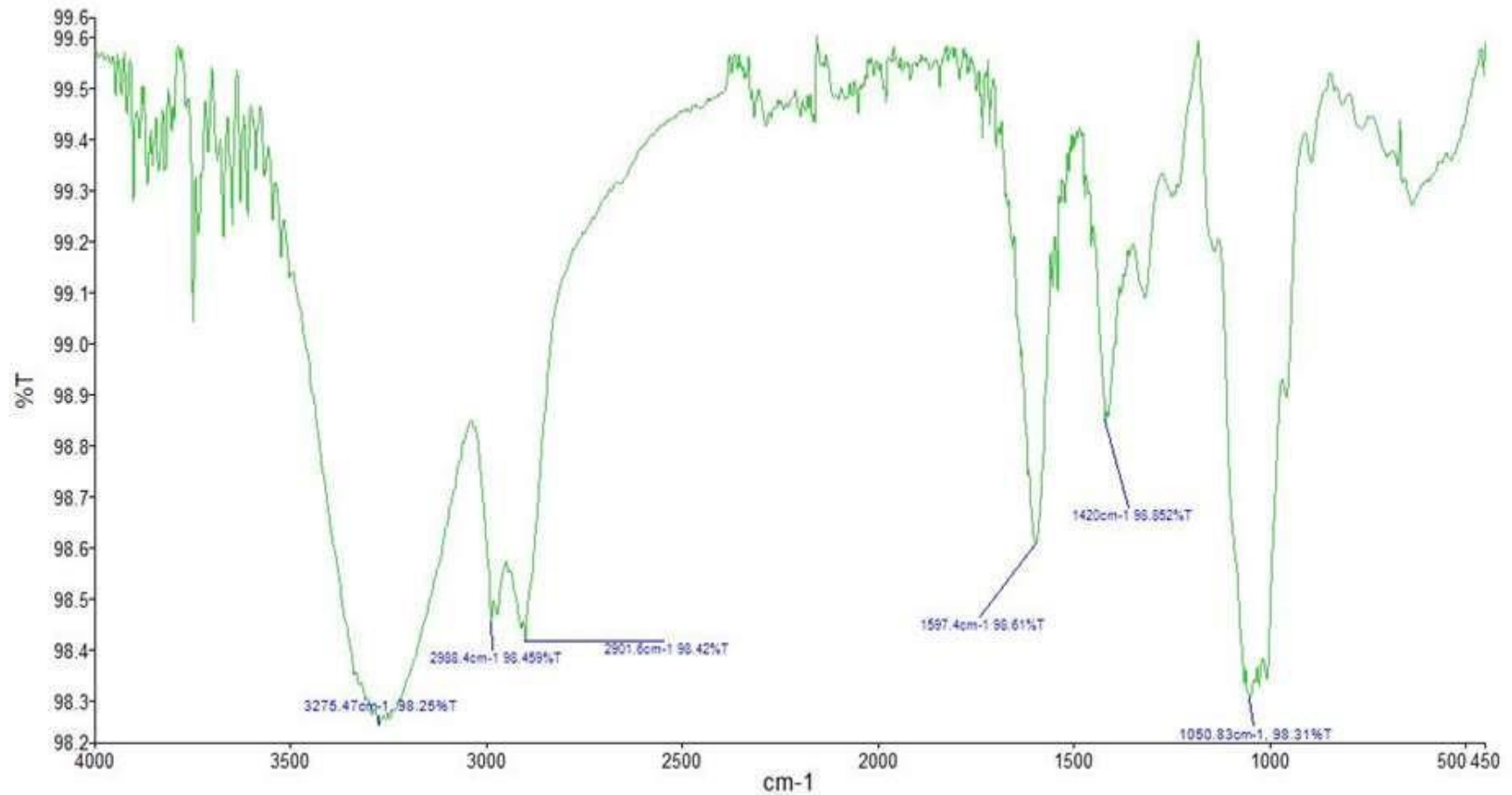
### 3.2. Grupos funcionales del material bioadsorbente mediante FTIR

#### 3.2.1. Grupos funcionales de la membrana de naranja y membrana de naranja reticulada mediante Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

**Figura 11** FTIR de la membrana de naranja sin tratamiento

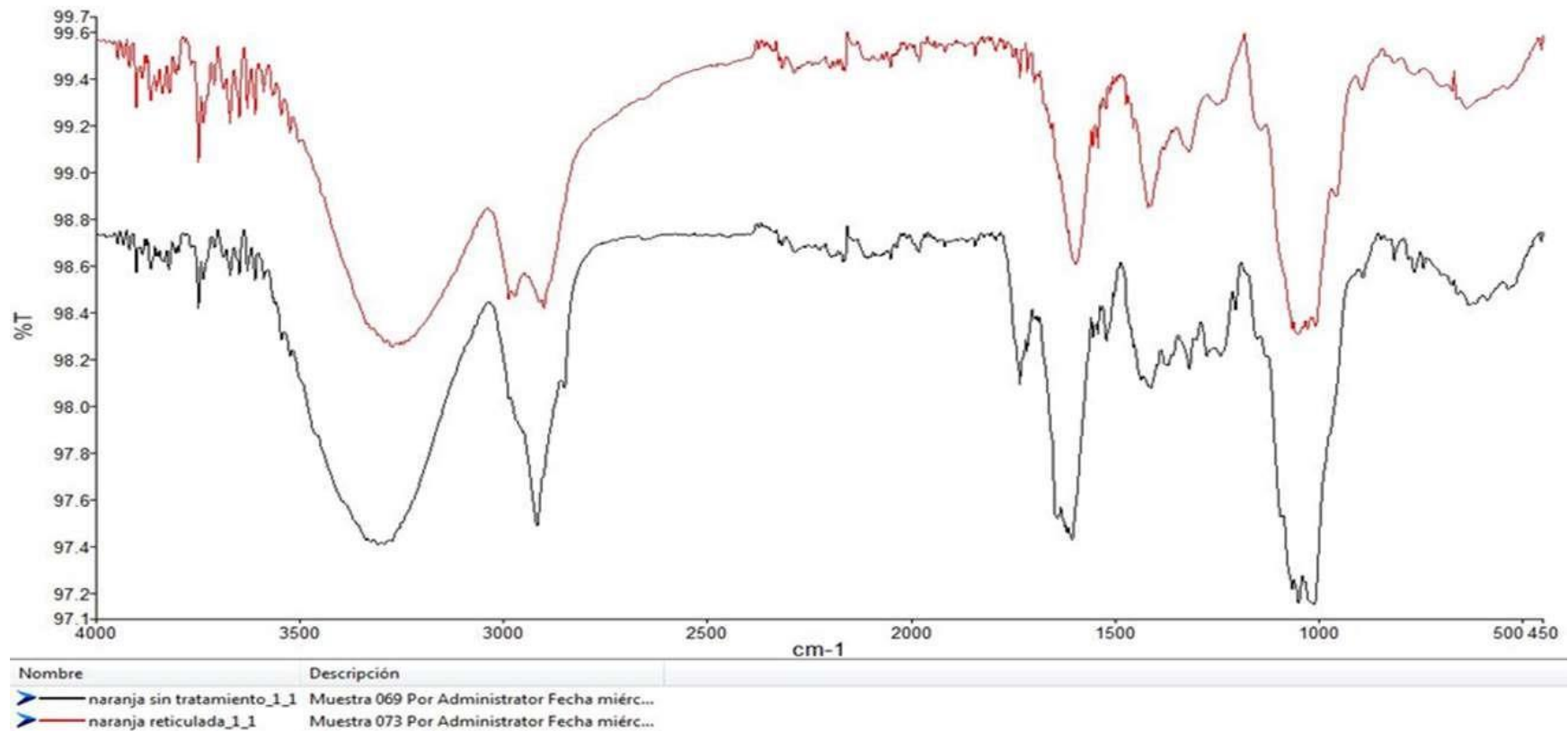


El valor de  $3308.9 \text{ cm}^{-1}$  es uno de los picos más característicos, ya que indica la presencia de grupos hidroxilos (-OH) con formación de puente de hidrogeno. El pico  $2918.9 \text{ cm}^{-1}$  de absorción corresponde a un estiramiento Csp<sup>3</sup>-H. La señal poco intensa de  $1734 \text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo cetónico probablemente ciclado (anillo de seis lados). El pico intenso de  $1642 \text{ cm}^{-1}$ , correspondería a C=C formando parte de un ciclo. Para poder ver como se interpreta la espectroscopia infrarroja ver el anexo H.

**Figura 12** *FTIR de la membrana de naranja reticulada*

El valor de 3275.5 cm<sup>-1</sup> es uno de los picos más distintivo ya que es un indicativo de (-OH) con formación de puente de hidrogeno. El pico 2988.4 cm<sup>-1</sup> y 2071 cm<sup>-1</sup> de absorción corresponde a un estiramiento Csp<sup>3</sup>-H. El pico intenso de 1597 cm<sup>-1</sup>, correspondería a C=C formando parte de un ciclo.

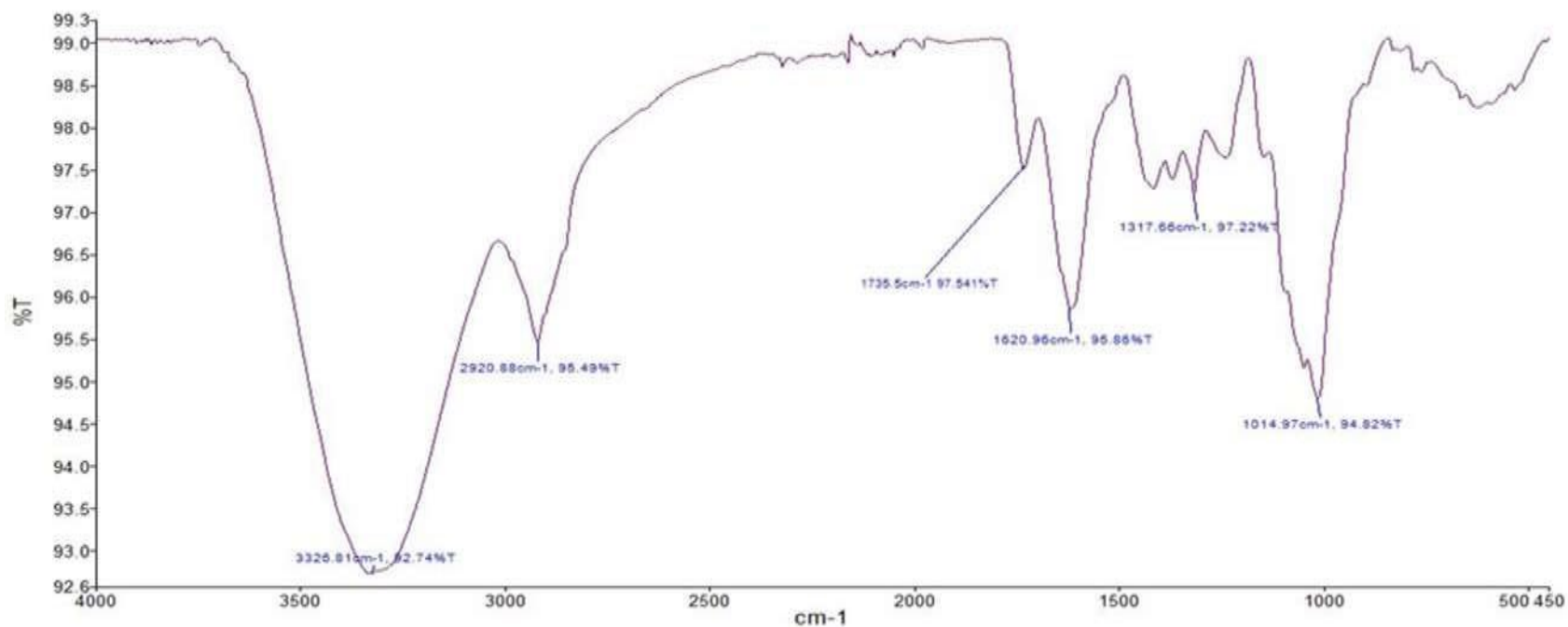
**Figura 13** *FTIR de la membrana de naranja y membrana de naranja reticulada*



En la comparación de estos espectros se observa modificaciones estructurales, desaparición y aparición de señales esto se debe al proceso de reticulación de la cáscara de naranja.

### 3.2.2. Grupos funcionales de la membrana de limón y membrana de limón reticulado mediante Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

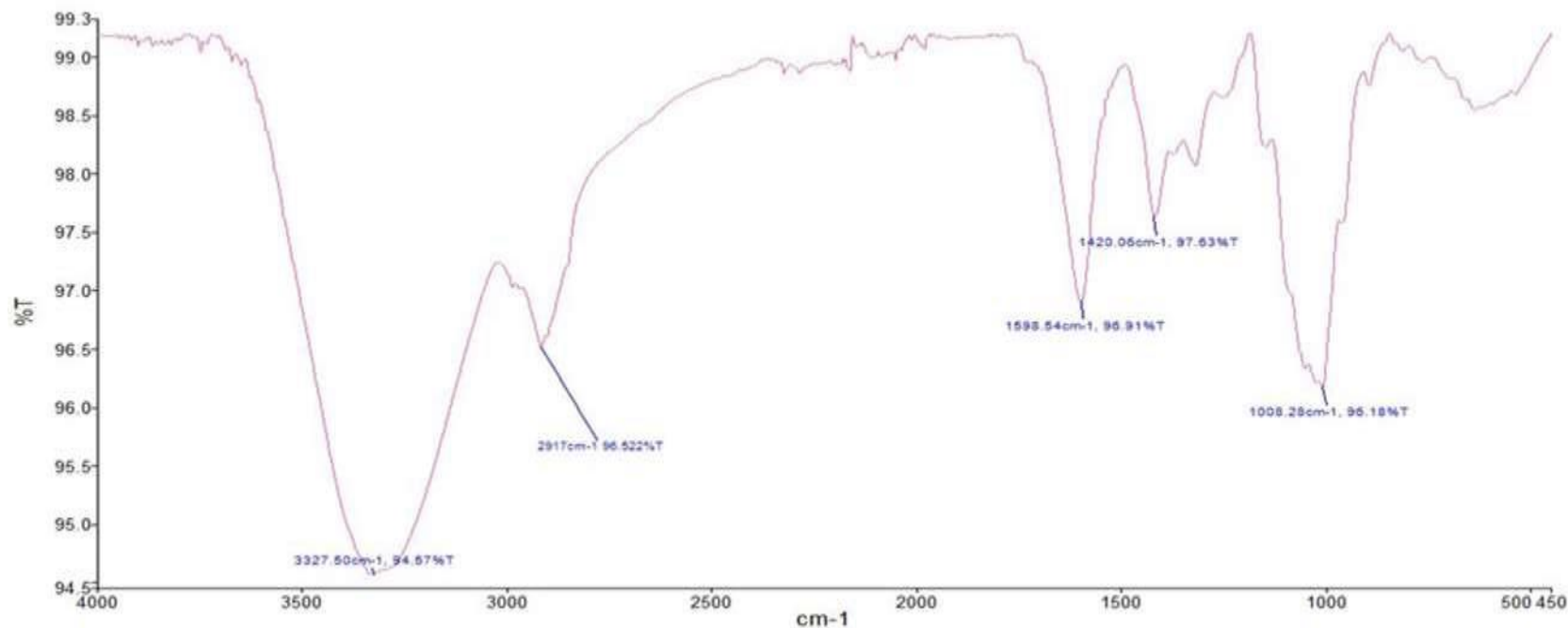
**Figura 14** FTIR de la membrana de limón



El valor de  $3326\text{ cm}^{-1}$  es uno de los picos más representativos ya que es un indicativo de grupos hidroxilos (-OH) con formación de puente de hidrogeno. El pico  $2920.9\text{ cm}^{-1}$  de absorción corresponde a un estiramiento Csp<sup>3</sup>-H. La señal poco intensa de  $1735\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo cetónico probablemente ciclado (anillo de seis lados). El pico intenso de  $1620\text{ cm}^{-1}$ , correspondería a C=C formando parte de un ciclo.

**Figura 15** FTIR de la membrana de limón reticulado

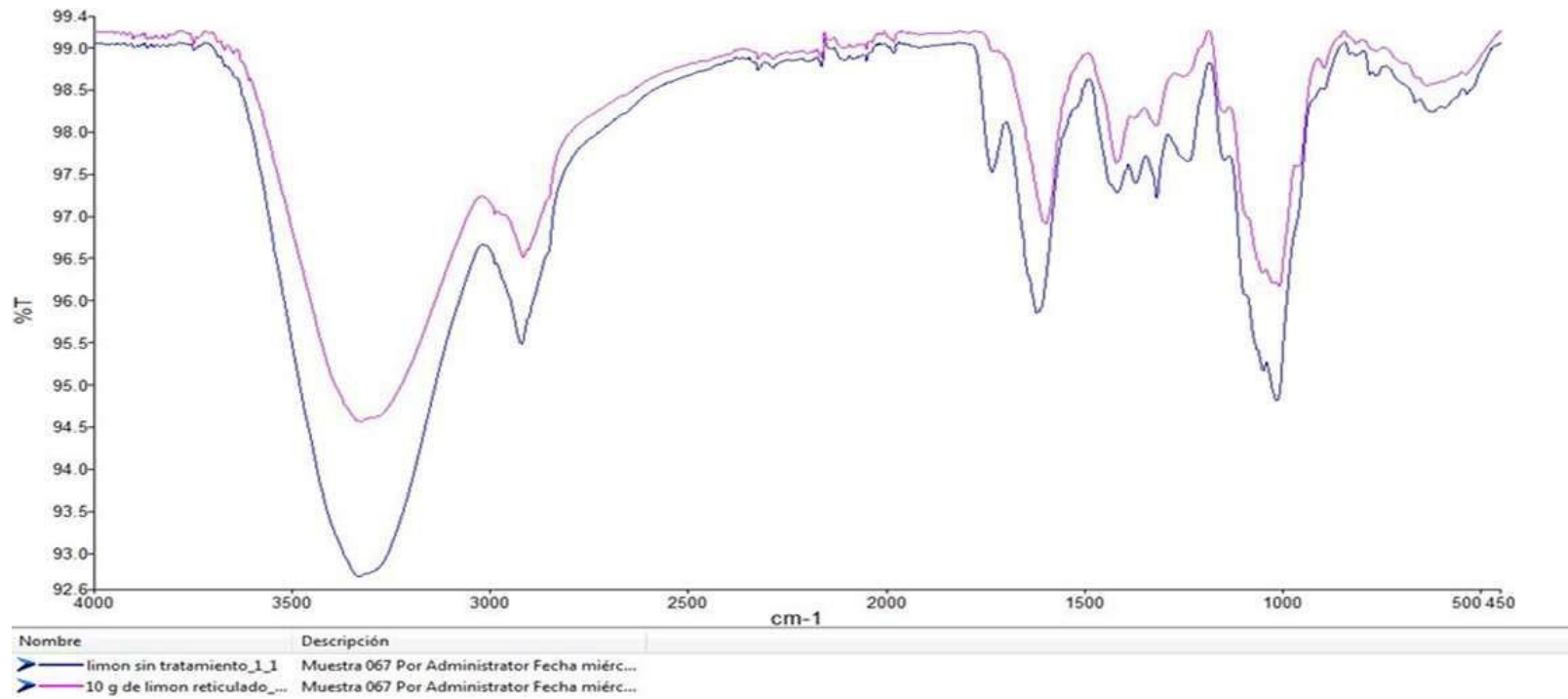




El valor de  $3327\text{ cm}^{-1}$  es uno de los picos más representativos ya que es un indicativo de grupos hidroxilos (-OH) con formación de puente de hidrogeno. El pico  $2917\text{ cm}^{-1}$  de absorción corresponde a un estiramiento Csp<sup>3</sup>-H. El pico intenso de  $1598\text{ cm}^{-1}$ , correspondería a C=C formando parte de un ciclo.

**Figura 16**

*FTIR de la membrana de limón y la membrana de limón reticulada*



En la comparación de estos espectros se observa modificaciones estructurales, desaparición y aparición de señales esto se debe al proceso de reticulación de la cáscara de limón.

### 3.3. Determinación fisicoquímica del material bioadsorbente

Las propiedades fisicoquímicas de la membrana de naranja y limón tales como grasas, proteínas, fibras, etc. se pueden ver en la tabla 7 y 8.

**Tabla 7** *Propiedades fisicoquímicas de la membrana de naranja reticulada*

Código de Muestra	Determinación	Unidades	Resultado
M2 - Naranja	Proteínas	g/100g	1.49
	Grasas	g/100g	0.21
	Fibra	g/100g	10.41
	Calorías	cal	25.00
	Aldehídos	g/100g	16.30
	Sodio	g/100g	0.15
	Potasio	g/100g	0.00
	Calcio	g/100g	132.80
	Hierro	g/100g	0.49
	Magnesio	g/100g	<0.01

*Nota.* %error: 0.05. Fuente los autores

**Tabla 8** *Propiedades fisicoquímicas de la membrana de limón reticulada*

Código de Muestra	Determinación	Unidades	Resultado
M1 - Limón	Proteínas	g/100g	1.50
	Grasas	g/100g	0.30
	Fibra	g/100g	11.00
	Calorías	cal	45.00
	Aldehídos	g/100g	17.00
	Sodio	g/100g	6.00
	Potasio	g/100g	160.00
	Calcio	g/100g	134.00
	Hierro	g/100g	0.80
	Magnesio	g/100g	15.00

*Nota.* %error: 0.05. Fuente los autores.

### 3.4. Ensayo de remoción de Plomo de soluciones acuosas

#### 3.4.1. Remoción de plomo de soluciones acuosas usando membrana de naranja reticulada La

remoción de plomo se llevó a cabo usando 0.7 g de membrana de naranja reticulada y 100ml de solución de nitrato de plomo con una concentración inicial de 62.56 ppm de plomo.

**Tabla 09**

*Porcentaje de remoción de plomo con membrana de naranja reticulada*

Orden	pH	Tiempo contacto (minutos)	de Concentración equilibrio (ppm)	en % Remoción
1	4.5	60	1.99	96.8191
2	4.5	60	2.01	96.7871
3	4.5	60	1.97	96.8510
4	4.5	120	1.85	97.0428
5	4.5	120	1.84	97.0588
6	4.5	120	1.79	97.1387
7	4.5	180	1.77	97.1707
8	4.5	180	1.8	97.1228
9	4.5	180	1.77	97.1707
10	5	60	1.88	96.9949
11	5	60	1.88	96.9949
12	5	60	1.86	97.0269
13	5	120	1.76	97.1867
14	5	120	1.81	97.1068
15	5	120	1.75	97.2027
16	5	180	1.71	97.2666
17	5	180	1.69	97.2986
18	5	180	1.72	97.2506
19	5.5	60	1.82	97.0908
20	5.5	60	1.85	97.0428
21	5.5	60	1.84	97.0588
22	5.5	120	1.69	97.2986

23	5.5	120	1.67	97.3306
24	5.5	120	1.72	97.2506
25	5.5	180	1.56	97.5064
26	5.5	180	1.59	97.4584
27	5.5	180	1.56	97.5064

*Nota.* Método: Absorción Atómica; %error: 0.005. *Fuente.* Los autores.

En la tabla 09 tenemos los valores de las concentraciones finales y el porcentaje de remoción de plomo para diferentes valores de pH y tiempos de contacto. En la tabla 10 se calcularon el promedio, la varianza y la desviación estándar del porcentaje de remoción.

**Tabla 10** Promedio, desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción

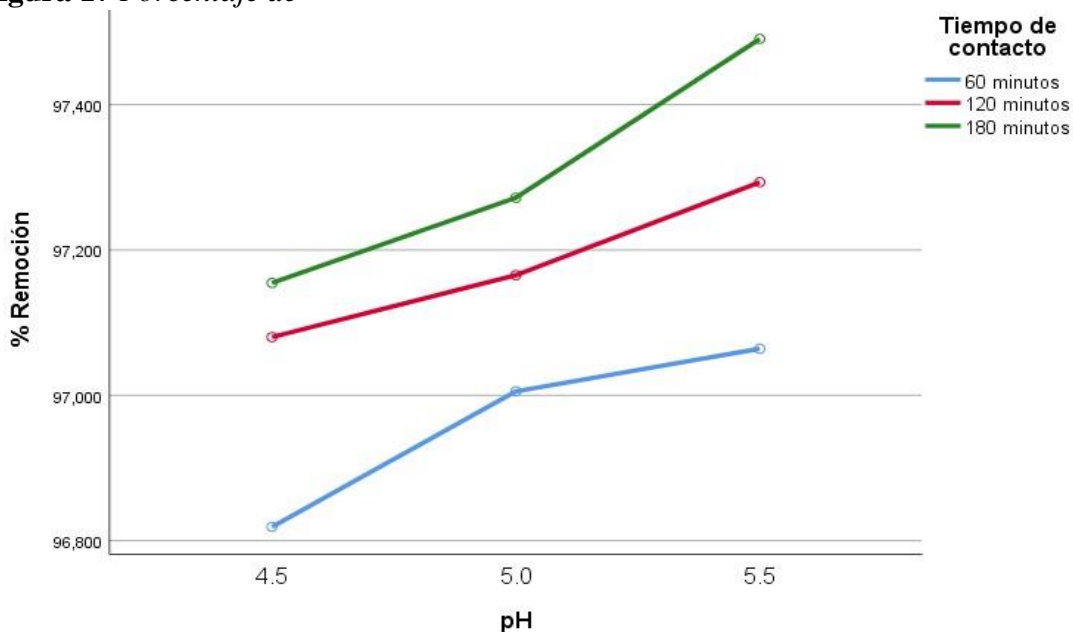
pH	Tiempo de contacto (min.)	de % de plomo	Remoción Promedio	$\sigma$	$S^2$
4.5	60	96.8191	96.8191	0.03196931	0.00102204
		96.7871			
		96.8510			
		97.0428			
	120	97.0588	97.0801	0.05138348	0.00264026
		97.1387			
		97.1707			
		97.1228			
	180	97.1707	97.1547	0.02768623	0.00076653
		97.1228			
		97.1707			
		97.1707			
5	60	96.9949	97.0055	0.01845749	0.00034068
		96.9949			
		97.0269			
		97.1867			
	120	97.1068	97.1654	0.05138348	0.00264026
		97.2027			
		97.2666			
		97.2666			
	180	97.2986	97.2720	0.02441696	0.00059619
		97.2986			
		97.2506			
		97.2506			

5.5	60	97.0908	97.0642	0.02441696	0.00059619
		97.0428			
		97.0588			
	120	97.2986	97.2933	0.04022717	0.00161822
		97.3306			
		97.2506			
	180	97.5064	97.4904	0.02768623	0.00076653
		97.4584			
		97.5064			

*Nota.*  $\sigma$ : Desviación estándar,  $S^2$ : Varianza de una muestra. Fuente. Los autores.

En la figura 17 se muestra la influencia que tiene el pH y el tiempo de contacto en la remoción del plomo.

**Figura 17** Porcentaje de



*remoción Vs pH y Tiempo de contacto de membrana de naranja reticulada*

En la figura 17 se puede ver la interacción del pH y el tiempo de contacto en la remoción del plomo usando cáscara de naranja reticulada. El aumento del pH y tiempo de contacto, da como resultado el aumento del porcentaje de remoción del plomo; siendo el 97.5064 % el mejor resultado a un pH de 5.5 y un tiempo de contacto de 180 minutos. Esta grafica se realizó en sspss v.25.

### 3.4.2. Remoción de plomo de soluciones acuosas usando cáscara de limón reticulada

La remoción de plomo se llevó a cabo usando 0.7g de membrana de limón reticulada y 100ml de solución de nitrato de plomo con una concentración inicial de 62.56 ppm de plomo.

**Tabla 11**

*Porcentaje de remoción de plomo con membrana de limón reticulada*

Orden	pH	Tiempo de contacto (minutos)	Concentración equilibrio (mg/L)	en % Remoción
1	4.5	60	2.009	96.7887
2	4.5	60	2.01	96.7871
3	4.5	60	2.008	96.7903
4	4.5	120	1.85	97.0428
5	4.5	120	1.84	97.0588
6	4.5	120	1.846	97.0492
7	4.5	180	1.77	97.1707
8	4.5	180	1.775	97.1627
9	4.5	180	1.77	97.1707
10	5	60	1.88	96.9949
11	5	60	1.88	96.9949
12	5	60	1.885	96.9869
13	5	120	1.76	97.1867
14	5	120	1.754	97.1963
15	5	120	1.75	97.2027
16	5	180	1.71	97.2666
17	5	180	1.703	97.2778
18	5	180	1.72	97.2506

19	5.5	60	1.833	97.0700
20	5.5	60	1.85	97.0428
21	5.5	60	1.84	97.0588
22	5.5	120	1.69	97.2986
23	5.5	120	1.676	97.3210
24	5.5	120	1.72	97.2506
25	5.5	180	1.567	97.4952
26	5.5	180	1.565	97.4984
27	5.5	180	1.569	97.4920

*Nota.* Método: Absorción Atómica; %error: 0.005. *Fuente.* Los autores.

En la tabla 11 se muestran los valores de las concentraciones finales y el porcentaje de remoción de plomo a un determinado pH y tiempo de contacto. En la tabla 12 se determinó el promedio, la varianza y la desviación estándar del porcentaje de remoción.

**Tabla 12** Promedio, desviación estándar y varianza del porcentaje de remoción

pH	Tiempo de contacto (min.)	de % Remoción de plomo	Promedio	$\sigma$	S <sup>2</sup>
4.5	60	96.7887	96.7887	0.00159847	2.5551E-06
		96.7871			
		96.7903			
		97.0428			
	120	97.0588	97.0503	0.00804543	6.4729E-05
		97.0492			
		97.1707			
		97.1707			
	180	97.1627	97.1681	0.00461437	2.1292E-05
		97.1707			
5	60	96.9949	96.9922	0.00461437	2.1292E-05
		96.9949			
		96.9869			
		97.1867			
	120	97.1963	97.1952	0.00804543	6.4729E-05
		97.2027			

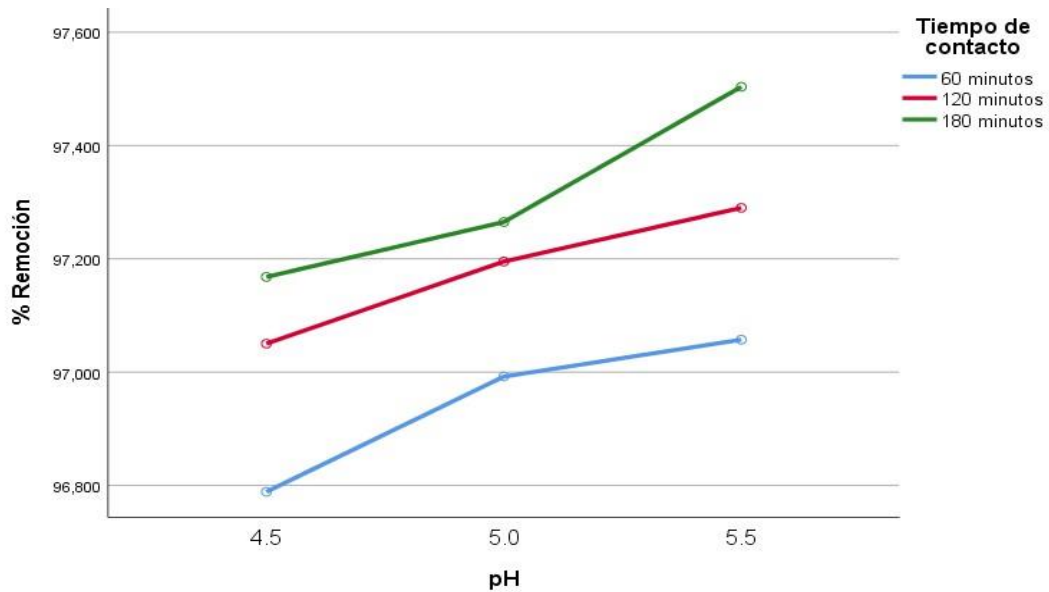


		97.2666			
	180	97.2778	97.2650	0.01365729	0.00018652
		97.2506			
		97.0700			
	60	97.0428	97.0572	0.01365729	0.00018652
		97.0588			
		97.2986			
	120	97.3210	97.2901	0.0359329	0.00129117
5.5		97.2506			
		97.4952			
	180	97.4984	97.4952	0.00319693	1.022E-05
		97.4920			

*Nota.*  $\sigma$ : Desviación estándar,  $S^2$ : Varianza de una muestra. Fuente. Los autores.

En la figura 18 se muestra la influencia del pH y el tiempo de contacto en la remoción del plomo.

**Figura 18** Porcentaje de remoción Vs pH y Tiempo de contacto de la membrana de limón reticulado



En la figura 18 se puede ver la interacción del pH y el tiempo de contacto en la remoción del plomo usando membrana de naranja reticulada. El aumento del pH y tiempo de contacto, da como resultado el aumento del porcentaje de remoción del plomo; siendo el 97.4984 % el mejor resultado a un pH de 5.5 y un tiempo de contacto de 180 minutos.

### **3.5. Pruebas estadísticas**

Se realizó mediante software estadístico IBM SPSS Statistics v.25. En los apéndices adjuntos se pueden encontrar las tablas y resultados obtenidos durante el proceso de análisis estadístico.

### 3.5.1. Prueba ANOVA

#### 3.5.1.1. Porcentaje Remoción de la membrana de naranja

**Tabla 13** Prueba ANOVA para la membrana de Naranja.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,883 <sup>a</sup>	8	,110	90,366	,000
Intersección	254826,177	1	254826,177	208742832,628	,000
pH	,315	2	,158	129,093	,000
Tiempo de contacto	,541	2	,271	221,605	,000
pH * Tiempo de contacto	,026	4	,007	5,384	,005
Error	,022	18	,001		
Total	254827,081	27			
Total corregido	,905	26			

*Nota.* a. R al cuadrado = ,976 (R al cuadrado ajustada = ,965) Fuente. Los autores.

**Interpretación:** En el análisis de varianza, la variable pH, Tiempo de contacto y la interacción de ellos son estadísticamente significativas ( $0.000 < 0.05$ ,  $0.000 < 0.05$  y  $0.005 < 0.05$ ), esto indica que el pH, el Tiempo de contacto y la interacción de ellos influyen en el aumento del porcentaje de remoción del plomo.

### 3.5.1.2. Porcentaje de Remoción de la membrana limón

**Tabla 14** Prueba ANOVA para la membrana de limón

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,002 <sup>a</sup>	8	,125	606,313	,000
Intersección	254806,300	1	254806,300	1232862866,683	,000
pH	,357	2	,178	862,513	,000
Tiempo de contacto	,618	2	,309	1495,498	,000
pH * Tiempo de contacto	,028	4	,007	33,620	,000
Error	,004	18	,000		
Total	254807,306	27			
Total corregido	1,006	26			

*Nota.* a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,995) Fuente. Los autores.

**Interpretación:** En el análisis de varianza, la variable pH, Tiempo de contacto y la interacción de ellos son estadísticamente significativas ( $0.000 < 0.05$ ,  $0.000 < 0.05$  y  $0.000 < 0.05$ ), esto indica que el pH, el Tiempo de contacto y la interacción de ellos influyen en el aumento del porcentaje de remoción del plomo.



#### IV. Discusiones

- En la presente investigación se utilizó 0.7g de membrana de naranja reticulada y una solución acuosa con una concentración de 62.56 ppm de plomo y pH de 5.5, con agitación durante 180 minutos se removió el 97.5064% de plomo. Lo que nos permite aceptar la hipótesis dado a que mayor el pH y mayor tiempo de contacto aumenta el porcentaje de remoción de la membrana de naranja reticulada. Estos resultados guardan relación con Bermeo y Calero, (2022) que utilizando cascara de naranja sin reticular obtuvieron un porcentaje de remoción de 91,60% con un pH de 4,27. Así mismo con Calixto y Gaona, (2019) para el cual la biosorción de la cascara de naranja sin reticular se logró después de 6 horas, alcanzando un porcentaje de remoción de Pb (II) del 91,8% a un pH de 5.

- El porcentaje de remoción de plomo en la presente investigación utilizando 0.7g de membrana de limón reticulada y una solución acuosa con una concentración de 62.56 ppm de plomo y pH de 5.5, con agitación durante 180 minutos es de 97.4984% de plomo. Esto nos permite aceptar la hipótesis dado a que mayor el pH y mayor tiempo de contacto aumenta el porcentaje de remoción de la membrana de cascara de naranja. Datos que se contrastan con Pérez y Huamán, (2023) que lograron obtener 98,35% como máximo porcentaje de bioadsorción en un tiempo de contacto de 3 horas con cascara de naranja reticulada y por Ártica y Sierra (2019) en su estudio con cascara de limón sin reticular lograron obtener una eficiencia de remoción para el plomo de 91,35% a un pH de 5 y un tiempo de contacto de 3 horas.

- Sin embargo no se concuerda con Paytan (2021), que en su tesis “Adsorción de plomo (II) usando cascara de plátano (*Musa paradisiaca*) en aguas contaminadas” para la remoción de plomo empleo un diseño factorial experimental 2k cuyos niveles son: el diámetro del adsorbente y

pH, con dos factores (tamices número 70, 100) y (4,0 y 6,0) respectivamente, con tres repeticiones concluye que la remoción con relación a la variación del pH no existe ninguna diferencia.

## VI. Conclusiones

- A medida que aumenta el pH y aumenta el tiempo de contacto de las membranas de naranja reticulada y membrana de limón reticulada el porcentaje de remoción aumenta.
- Las membranas (cáscaras de naranja y limón) fueron desmetoxilados usando NaOH para aumentar los grupos carboxílicos y reticulados con  $\text{CaCl}_2$  para estabilizar la pectina (Pectinato de calcio), mejorando de esta manera la adsorción de Pb.
- La membrana de naranja tiene 77.2% de ácido galacturónico y 8.1% de grupos metoxilos; la membrana de limón tiene 78.1% de ácido galacturónico y 8.4% de grupos metoxilos y teniendo en cuenta los valores normados por la USP, se concluye que las membranas de naranja y limón tienen pectinas de alto metoxilo.
- Los análisis de grupos funcionales de las membranas reticuladas mediante la Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) de las cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus lemon*) presenta una reducción de los picos en comparación con los picos de las membranas sin reticular. Esta reducción de picos se debe al proceso de desmetoxilación, ya que en dicho proceso se eliminan los grupos metoxilos de la pectina presente en las membranas aumentando de esta manera los grupos carboxílicos que son los sitios activos de la pectina para adsorber el plomo.
- El pH y el tiempo óptimo para la remoción de metales pesados (plomo), se pueden ver en las figuras: figura 16 y figura 18, también se pueden observar en las tablas: tabla 9 y tabla 11. Por lo tanto, se concluye que el tiempo y el pH óptimo en esta investigación en la remoción de plomo son de 5.5 y 180 minutos respectivamente para la membrana de naranja y membrana de

limón con una remoción de 97.5064 % y 97.4984% respectivamente. En el análisis estadístico de varianza (ANOVA) de las variables pH, tiempo de contacto y la interacción de ellos son estadísticamente significativos tanto para las membranas de cáscaras de naranja como para las membranas de cáscara de limón; esto indica que el pH y tiempo de contacto y la interacción de ellos influyen en el porcentaje de remoción de plomo.

## **VII. Recomendaciones**

- Se recomienda ampliar el rango de pHs para la remoción de plomo, pero no sobrepasar el pH 7 dado que a pH más altos, pueden formarse especies insolubles que reducen la eficacia del proceso de remoción.
- Estudiar la velocidad cinética de la remoción de plomo usando las ecuaciones de primer y segundo orden para poder encontrar el punto de equilibrio de la adsorción.
- Sugerimos que para las futuras investigaciones de adsorción trabajen con diferentes temperaturas y diferentes tamaños de los adsorbentes.
- Recomendamos que realicen las isotermas de adsorción usando los modelos de Lagmuir y Freundlich para determinar la capacidad de adsorción de las membranas.
- Hacer análisis del pH de las membranas de los cítricos.
- Hacer análisis de las membranas de naranja y limón con muestras de aguas residuales y comparar la variación del porcentaje de remoción.
- Desarrollar pruebas piloto a mayor escala para evaluar la eficacia y viabilidad de la remoción.

## **VIII. Referencias**



- Al-Khashman, O. A. (2004). Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. *Atmospheric Environment*, 38, 6803–6812. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.09.011
- Abburrá, R. (2007). Evaluación y control de los impactos generados por materiales y residuos no convencionales. Córdoba: Encuentro.
- Aguilar Salas, M. B., & Flores Rodríguez, C. P. (2018). *Evaluación de la cáscara de naranja (citrus sinensis) como material adsorbente natural de ion metálico Cu(II)*. (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa)  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7105/IQagsamb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcivar Tenorio, M., & Mosquera Armijo, J. (2011). *Concentración de metales pesados (Cr total, Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el estero salado (Guayaquil)*. (Tesis de Pregrado, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Guayaquil.)  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/618/1/CONCENTRACION%20DE%20METALES%20PESADOS.pdf>
- Ancillo, G., & Medina, A. (2014). *Los Cítricos*. València: Monografías botánicas.  
[http://www.jardibotanic.org/fotos/pdf/publicacion\\_2\\_84\\_LOS\\_CITRICOS-ESP.pdf](http://www.jardibotanic.org/fotos/pdf/publicacion_2_84_LOS_CITRICOS-ESP.pdf)
- Anonimo. (2013). *Manual de Experimentos Química Orgánica II (1407)*. Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Química Orgánica.  
[http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/\\_20477.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/_20477.pdf)
- Areco, M. (2011). *Métodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados*. (Tesis de Posgrado, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires).  
[https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n4811\\_Areco.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4811_Areco.pdf)

- Artica Mejia, M. K., & Sierra Ortiz, S. P. (2019). *Eficiencia de la cáscara de castaña y limón para la remoción de cromo y plomo en una curtiembre de Ate Vitarte–2019*. (Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo, Lima Norte). Repositorio institucional Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/60825>
- Balarezo Saltos, L. D., & Vines Obando, M. B. (2021). Aprovechamiento de la cáscara de naranja (*Citrus X sinensis*) para la obtención de extracto esencial como un desengrasante natural (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Bermeo, S. M. B., Sánchez, E. Y. O., & Calero, L. G. V. (2022). Estudio de la bioadsorción de metales pesados (Pb y Cu) en las aguas del río Puyango, utilizando cáscara de naranja y plátano manzano. *Ingeniería Química y Desarrollo*, 4(01), 11-20.
- Calixto Dominguez, C. M., & Gaona Lopez, B. A. (2019). *Biosorción de plomo ii con cáscara de naranja (citrus cinensis) aplicado a efluentes acuosos*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao, Callao). <https://hdl.handle.net/20.500.12952/5712>
- Carhuas Maximiliano, S. S. (2022). *Beneficios económicos de la reducción de plomo en la sangre de la población infantil del Distrito de Simón Bolívar, Pasco - 2019*. (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco). <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2454>
- Cerón Salazar, I., & Cardona Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65 - 86. <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v7n13/v7n13a04.pdf>
- Coronel Romero, I. S. (2016). *Influencia del Pre-tratamiento Fisicoquímico en la Velocidad, Eficiencia y Capacidad de Biosorción de Plomo (II) en Cáscara de Naranja (Citrus sinensis)*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química, Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9001>
- Farooq, U., Kozinski, J. A., Khan, M. A., & Athar, M. (2010). Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. *Bioresource Technology*, 101, 5043–5053. doi:10.1016/j.biortech.2010.02.030

- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012). Preparation, characterization and evaluation of adsorptive properties of orange peel based activated carbon via microwave induced K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation. *Bioresource Technology*, 104, 679–686. doi:10.1016/j.biortech.2011.10.005
- Guzmán Campos, D. G., & Rea Rocha, M. (2015). *Determinación Cuantitativa de Plomo y Cadmio en Zumos de Naranja de Venta Ambulatoria en Cercado de Lima Marzo – Julio 2015*. (Tesis de Pregrado), Universidad Inca Garcilazo de la Vega, Facultad de ciencias farmacéuticas y bioquímicas, Cercado de Lima. [http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1231/TESIS%20GUZM%C3%81N%20CAMPOS%20DESIRET%20GRETEL\\_%26\\_REA%20ROCHA%20MARIE%20LLA.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1231/TESIS%20GUZM%C3%81N%20CAMPOS%20DESIRET%20GRETEL_%26_REA%20ROCHA%20MARIE%20LLA.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Laura Ticona, V. E. (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*. (Tesis de Posgrado, Universidad Nacional San Agustín, Arequipa). <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/44de4758-87a5-42de-945de952c36abe88>
- Lavado Meza, C. D. R., Sun Kou, M. del R., Bonilla Mancilla, H. D. y Castro Arroyo, T. K. (2020). Biosorción de plomo (II) en solución acuosa con biomasa de los cladodios de la tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista Colombiana de Química*, 49(3), 36–46. <https://doi.org/10.15446/rcq.v49n3.85823>
- Marshall Sánchez, R. E., & Espinoza Subía, J. F. (2016). *Evaluación del poder biosorbente de las cáscaras de cítricos (Limón y Toronja) para eliminación de metales pesados; Plomo (Pb) y Mercurio (Hg) en aguas residuales sintéticas*. (Tesis de Pregrado), Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18100/1/401-1208%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20poder%20biosorbente%20de%20las%20c%C3%A1scaras%20de%20c%C3%ADtricos.pdf>
- Mendoza Quintos, D. J. (2018). *Efecto de la granulometría y peso de cascara de Citrus sinensis (Naranja) en la remoción de plomo en aguas de la laguna de Pias - Patatz, 2018*. (Tesis

- de Pregrado), Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Trujillo. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/26131>
- Muñoz Carpio, J. C. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada*. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Lima.
- Murray, M., Pizzorno, J., & Pizzorno, L. (2005). *The Encyclopedia of Healing Foods*. New York: ATRIA BOOKS.
- Ordóñez Romero, A. E. (2015). *Bioadsorción de Pb y Cr Mediante la Utilización de Cáscara de Naranja (Citrus Sinensis) Molida, Machala 2014*. MACHALA – EL ORO: Universidad Técnica de Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1897>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18.
- Paytan Montañez, T. C. (2021). *Adsorción de plomo (II) usando cáscara de plátano (Musa paradisiaca) en aguas contaminadas*. (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7622>
- Perez Aparicio, M. A., & Huaman Sotelo, J. W. (2023). *Capacidad de bioadsorción con cáscara de limón sutil (Citrus Aurantifolia) para la remoción de plomo en aguas sintéticas a nivel piloto*. (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao, Callao). <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/8264/TESIS%20-%20HUAMAN%20-%20PEREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tejada Tovar, C., Herrera, A., & Núñez Zarur, J. (2016). Remoción de plomo por biomásas residuales de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 169-178. doi:<https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.126>
- Tejada Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*,

- 18(34), 109-123. <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a10.pdf>
- Valero Gaspar, T., Rodríguez Alonso, P., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J., & Varela Moreiras, G. (2018). *La alimentación española características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta*. Madrid: Fundación española de la nutrición.
- Verdugo Vergara, J. F. (2017). *Bioadsorción de iones de plomo y cromo procedentes de aguas residuales utilizando la cáscara de la mandarina (Citrus reticulata var. Clementina)*. (Tesis de Pregado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca). <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14249>
- Vizcaíno Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2015). Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), 43 – 60. <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a04.pdf>
- Ye, X. (Ed.). (2017). *Phytochemicals in Citrus: Applications in Functional Foods*. CRC Press/Taylor & Francis.
- Zegada Franco, V. Y. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65 – 76. [http://www.scielo.org.bo/pdf/riyd/v1n15/v1n15\\_a07.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/riyd/v1n15/v1n15_a07.pdf)

## IX. Anexo

### 9.1. Anexo A: Obtención del Material bioadsorbente

**Figura 19** *Recepción y selección de la cascara de naranja y limón*



**Figura 20**

*Separación, limpieza y troceado de las cáscaras*



**Figura 21**

*Secado de las cáscaras de naranja y limón*



**Figura 22**

*Molienda de las cáscaras de naranja y limón*



**Figura 23** *Pesado para el proceso de desmetoxilación*





*Nota.* A la izquierda membrana de limón y a la derecha membrana de naranja

**Figura 24** *Pesado de Hidróxido de Sodio*



**Figura 25** *Agitación para la desmetoxilación de las membranas*





**Figura 26** *Filtrado y lavado de las membranas*



**Figura 27** *Acondicionamiento para el secado de las membranas*



**Figura 28** *Secado de Biomasa a 40°C por 4 horas*



**Figura 29**

*Reducción del tamaño de las membranas*



**Figura 30** *Almacenamiento de las membranas desmetoxiladas*



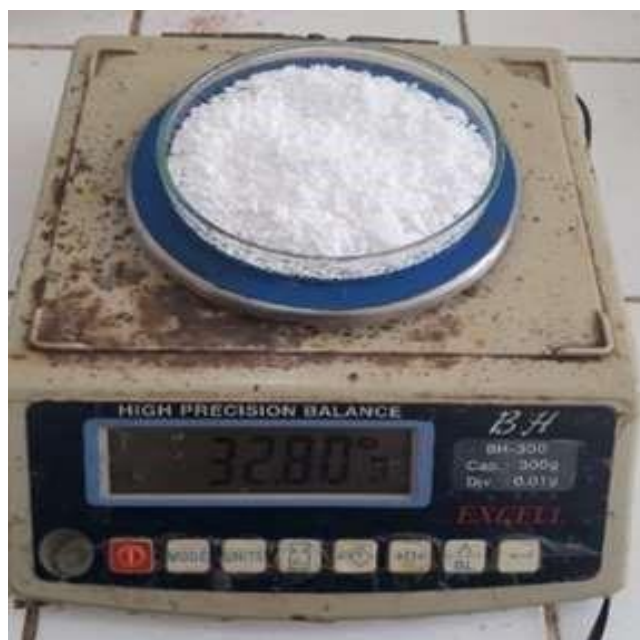
*Nota.* En la izquierda se almacena la membrana de Naranja y en la derecha la membrana de limón.

**Figura 31** *Pesado de la membrana para el proceso de reticulación*



**Figura 32**

*Pesado del cloruro de calcio*



**Figura 33**

*Vertido de la membrana en la solución de cloruro de calcio*



**Figura 34**

*Ajustado y medida del pH de la solución de Cloruro de Calcio*



**Figura 35**

*Proceso de reticulación de las membranas con agitación magnética por 24 horas*



**Figura 36** *Filtrado de las membranas*





**Figura 37**

*Secado y molienda de las membranas*



**Figura 38** *Tamizado y almacenamiento de la membrana*



## 9.2. Anexo B: Preparación de la solución acuosa de plomo

**Figura 39** *Pesado de Nitrato de Plomo*



*Nota.* A la izquierda recipiente de Nitrato de Plomo y a la derecha pesado de 10 g de Nitrato de plomo.

**Figura 40** *Preparación de solución de plomo*



**Figura 41** *Solución de plomo*



**9.3. Anexo C: Ajuste del pH de la solución de plomo**

**Figura 42**

*Ajuste del pH de la solución de plomo*





#### 9.4. Anexo D: Proceso de bioadsorción del plomo

**Figura 43**

*Adsorción de las membranas bajo agitación magnética*



**Figura 44**

*Filtrado y almacenamiento de la solución para su posterior análisis*



**Figura 45** Almacenado de los frascos para su respectivo análisis



**9.5. Anexo E: Propiedades fisicoquímicas de las membranas**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

## LASACI



### MUESTRA CÁSCARA DE NARANJA:

CÓDIGO DE MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO
M2 – NARANJA	PROTEINAS	gr/100gr.	1.49
	GRASAS	gr/100gr.	0.21
	FIBRA	gr/100gr.	10.41
	CALORIAS	cal.	25.00
	ALDEHIDOS	mg/100gr.	16.30
	SODIO	mg/100gr.	0.15
	POTASIO	mg/100gr.	0.00
	CALCIO	mg/100gr.	132.80
	HIERRO	mg/100gr.	0.49
	MAGNESIO	mg/100gr.	<0.01

%error: 0.05

TRUJILLO, 18 DE NOVIEMBRE DEL 2019



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

**LASACI**



## INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE:	JAVIER RAMIREZ LARREATEGUI
PROYECTO:	"INFLUENCIA DEL pH Y TIEMPO DE CONTACTO DE LAS MEMBRANAS DE NARANJA ( <i>CITRUS SINENSIS</i> ) Y LIMÓN ( <i>CITRU LIMON</i> ) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO DE SOLUCIONES ACUOSAS"
FECHA DE INGRESO:	11 DE NOVIEMBRE DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

MUESTRA CÁSCARA DE LIMÓN:

CÓDIGO DE MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO
M1 - LIMON	PROTEINAS	gr/100gr.	1.50
	GRASAS	gr/100gr.	0.30
	FIBRA	gr/100gr.	11.00
	CALORIAS	cal.	45.00
	ALDEHÍDOS	mg/100gr.	17.00
	SODIO	mg/100gr.	6.00
	POTASIO	mg/100gr.	160.00
	CALCIO	mg/100gr.	134.00
	HIERRO	mg/100gr.	0.80
	MAGNESIO	mg/100gr.	15.00

%error: 0.05



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

### 9.6. Anexo F: Análisis de la pectina en las membranas (cáscara de naranja y limón)





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

**LASACI**



## INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE:	JAVIER RAMIREZ LARREATEGUI
PROYECTO:	"INFLUENCIA DEL pH Y TIEMPO DE CONTACTO DE LAS MEMBRANAS DE NARANJA ( <i>CITRUS SINENSIS</i> ) Y LIMÓN ( <i>CITRUS LIMON</i> ) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO DE SOLUCIONES ACUOSAS"
FECHA DE INGRESO:	11 DE NOVIEMBRE DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

### MUESTRA CÁSCARA DE NARANJA:

CÓDIGO DE MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO	NORMA
M1 - PECTINA	pH	-	2.33	-
	ACIDO GALACTURÓNICO	%	77.2	>74% (USP)
	METOXILOS	%	8.1	>6.8% (pectinas de alto metoxilo)

Método: Cromatógrafo GC - MS  
%error: 0.05

### MUESTRA CÁSCARA DE LIMÓN:

CÓDIGO DE MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO	NORMA
M2 - PECTINA	pH	-	2.18	-
	ACIDO GALACTURÓNICO	%	78.1	>74% (USP)
	METOXILOS	%	8.4	>6.8% (pectinas de alto metoxilo)

Método: Cromatógrafo GC - MS  
%error: 0.05

TRUJILLO, 18 DE NOVIEMBRE DEL 2019

Ing. Carlos A. Valqui Mendoza  
DIRECTOR LASACI



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBÓN - CAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

### 9.7. Anexo G: Concentración final de la solución de plomo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

**LASACI**



## INFORME DE ANÁLISIS

SOLICITANTE:	JAVIER RAMIREZ LARREATEGUI
PROYECTO:	"INFLUENCIA DEL pH Y TIEMPO DE CONTACTO DE LAS MEMBRANAS DE NARANJA ( <i>CITRUS SINENSIS</i> ) Y LIMÓN ( <i>CITRU LIMON</i> ) EN LA REMOCIÓN DE PLOMO DE SOLUCIONES ACUOSAS"
FECHA DE INGRESO:	04 DE NOVIEMBRE DEL 2019
<b>MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO</b>	

MUESTRA INICIAL:

CÓDIGO DE MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO
MN - BLANCO	Pb	mg/L	62.56

Método: Absorción Atómica  
%error: 0.05

MUESTRAS CON CÁSCARA DE NARANJA:

CÓDIGO DE MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO
MN1 - ph 4.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.99
MN2 - ph 4.5 - T:60min	Pb	mg/L	2.01
MN3 - ph 4.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.97
MN4 - ph 4.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.85
MN5 - ph 4.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.84
MN6 - ph 4.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.79
MN7 - ph 4.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.77
MN8 - ph 4.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.80
MN9 - ph 4.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.77

Método: Absorción Atómica  
%error: 0.05

Ing. Carlos A. Valqui  
DIRECTOR LASACI  
DIRECCIÓN

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

## LASACI



MN10 - ph 5 - T:60min	Pb	mg/L	1.88
MN11 - ph 5 - T:60min	Pb	mg/L	1.88
MN12 - ph 5 - T:60min	Pb	mg/L	1.86
MN13 - ph 5 - T:120min	Pb	mg/L	1.76
MN14 - ph 5 - T:120min	Pb	mg/L	1.81
MN15 - ph 5 - T:120min	Pb	mg/L	1.75
MN16 - ph 5 - T:180min	Pb	mg/L	1.71
MN17 - ph 5 - T:180min	Pb	mg/L	1.69
MN18 - ph 5 - T:180min	Pb	mg/L	1.72

Método: Absorción Atómica

%error: 0.05

MN19 - ph 5.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.82
MN20 - ph 5.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.85
MN21 - ph 5.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.84
MN22 - ph 5.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.69
MN23 - ph 5.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.67
MN24 - ph 5.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.72
MN25 - ph 5.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.56
MN26 - ph 5.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.59
MN27 - ph 5.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.56

Método: Absorción Atómica

%error: 0.05

### MUESTRAS CON CÁSCARA DE LIMÓN:

CÓDIGO DE MUESTRA	DETERMINACIÓN	UNIDADES	RESULTADO
ML1 - ph 4.5 - T:60min	Pb	mg/L	2.009
ML2 - ph 4.5 - T:60min	Pb	mg/L	2.01
ML3 - ph 4.5 - T:60min	Pb	mg/L	2.008
ML4 - ph 4.58 - T:120min	Pb	mg/L	1.85
ML5 - ph 4.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.84
ML6 - ph 4.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.846
ML7 - ph 4.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.77
ML8 - ph 4.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.775
ML9 - ph 4.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.77

Método: Absorción Atómica

%error: 0.05

Ing. Carlos A. Valqui  
DIRECTOR LASACI

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON -

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION

## LASACI



ML10 - ph 5 - T:60min	Pb	mg/L	1.88
ML11 - ph 5 - T:60min	Pb	mg/L	1.88
ML12 - ph 5 - T:60min	Pb	mg/L	1.885
ML13 - ph 5.02 - T:120min	Pb	mg/L	1.76
ML14 - ph 5.02 - T:120min	Pb	mg/L	1.754
ML15 - ph 5 - T:120min	Pb	mg/L	1.75
ML16 - ph 5 - T:180min	Pb	mg/L	1.71
ML17 - ph 5 - T:180min	Pb	mg/L	1.703
ML18 - ph 5 - T:180min	Pb	mg/L	1.72

Método: Absorción Atómica  
%error: 0.05

ML19 - ph 5.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.833
ML20 - ph 5.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.85
ML21 - ph 5.5 - T:60min	Pb	mg/L	1.84
ML22 - ph 5.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.69
ML23 - ph 5.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.676
ML24 - ph 5.5 - T:120min	Pb	mg/L	1.72
ML25 - ph 5.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.567
ML26 - ph 5.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.565
ML27 - ph 5.5 - T:180min	Pb	mg/L	1.569

Método: Absorción Atómica  
%error: 0.05

TRUJILLO, 18 DE NOVIEMBRE DEL 2019

  
Ing. Carlos A. Valqui Mendoza  
DIRECTOR LASACI



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

### 9.7. Anexo H: Absorciones IR para grupos funcionales representativos



Grupo funcional	Banda <sup>a</sup>	(cm <sup>-1</sup> )
Alcanos	C-H t	2950-2800
	CH <sub>2</sub> d	~1465
	CH <sub>3</sub> d	~1375
	CH <sub>2</sub> d (4 ó más)	~720
Alquenos	=CH t	3100-3010
	C=C t (aislado)	1690-1630
	C=C t (conjugado)	1640-1610
	C-H d (en el plano)	1430-1290
	C-H d (monosustituido)	~990 y ~910
	C-H d (disustituido - E)	~970
	C-H d (disustituido - 1,1)	~890
	C-H d (disustituido - Z)	~700
	C-H d (trisustituido)	~815
Alquinos	C-H t (acetilénico)	~3300
	CC t (triple enlace)	~2150
	C-H d (acetilénico)	650-600
Aromáticos	C-H t	3020-3000
	C=C t	~1600 y ~1475
	C-H d (mono)	770-730 y 715-685
	C-H d (orto)	770-735
	C-H d (meta)	~880 y ~780 y ~690
	C-H d (para)	850-800
Alcoholes	O-H t	~3650 o 3400-3300
	C-O t	1260-1000
Éteres	C-O-C t (dialquil)	1300-1000
	C-O-C t (diaril)	~1250 y ~1120
Aldehídos	C-H t (aldehído)	~2850 y ~2750
	C=O t	~1725
Cetonas	C=O t	~1715
	C-C t	1300-1100
Ácidos carboxílicos	O-H t	3400-2400
	C=O t	1730-1700
	C-O t	1320-1210
	O-H d	1440-1400
Ésteres	C=O t	1750-1735
	C-C(O)-C t (acetatos)	1260-1230
	C-C(O)-C st (el resto)	1210-1160
Cloruros de ácidos	C=O t	1810-1775
	C-Cl st	730-550
Anhídridos	C=O t	1830-1800 y 1775-1740
	C-O t	1300-900

Aminas	N-H t	3500-3300
	N-H d	1640-1500
	C-N t (alquil)	1200-1025
	C-N t (aril)	1360-1250
	N-H d	~800
Amidas	N-H t	3500-3180
	C=O t	1680-1630
	N-H d	1640-1550
	N-H d (1°)	1570-1515
Haluros de alquilo	C-F t	1400-1000
	C-Cl t	785-540
	C-Br t	650-510
	C-I t	600-485
Nitrilos	C $\equiv$ N t (triple enlace)	~2250
Isocianatos	-N=C=O t	~2270
Isotiocianatos	-N=C=S t	~2125
Iminas	R <sub>2</sub> C=N-R t	1690-1640
Grupos nitro	-NO <sub>2</sub> (alifáico)	1600-1530 y 1390-1300
	-NO <sub>2</sub> (aromático)	1550-1490 y 1355-1315
Mercaptanos	S-H t	~2550
Sulfóxidos	S=O t	~1050
Sulfonas	S=O t	~1300 y ~1150
Sulfonatos	S=O t	~1350 y ~11750
	S-O t	1000-750
Fosfinas	P-H t	2320-2270
	P-H d	1090-810
Óxidos de fosfina	P=O t	1210-1140

<sup>a</sup> t = vibración de tensión; d = deformación



## ACTA DE SUSTENTACIÓN - 2024

Siendo las 11:00 am del día martes 30 de enero del 2024, se reunieron en la sala de sustentación de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias los miembros del jurado evaluador de la Tesis Titulada: **"Influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de naranja (*Citrus Sinensis*) y limón (*Citrus Lemon*) en la remoción de plomo de soluciones acuosas."**; designados Decreto N°069-2018-UINV-FIQIA de fecha 21 de setiembre del 2018 y aprobada con Decreto N°081-2019-UINV-FIQIA de fecha 12 de marzo del 2019, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformados por los siguientes docentes:

- Dra. Tarcila Amelia Cabrera Salazar – Presidente
- Dra. Blanca Margarita Romero Guzmán – Secretario
- Dra. Doyle Isabel Benel Fernández – Vocal.

La tesis fue asesorada por la Dra. Ada Patricia Barturen Quispe nombrada por Decreto N°290-2017-D-FIQIA de fecha 06 de diciembre del 2017. El acto de sustentación es autorizado con Res. N°016-2024-D-FIQIA-VIRTUAL de fecha 19 de enero del 2024

La Tesis fue presentada y sustentada por los Bachilleres: **IRIGOIN MARRUFO CESAR ELI y RAMIREZ LARREATEGUI JAVIER**; y tuvo una duración de 60 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el calificativo de ..... (bueno) en la escala vigesimal, mención bueno.

Por lo que quedan APTO (s) para obtener el Título Profesional de INGENIERO QUIMICO de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:01 se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

### • Firmas

  
.....  
Presidente  
Dra. TARCILA AMELIA CABRERA SALAZAR

  
.....  
Secretaría  
Dra. BLANCA MARGARITA ROMERO GUZMAN

  
.....  
Vocal  
Dra. DOYLE ISABEL BENEL FERNANDEZ

  
.....  
Asesor  
Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE



## **CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD**

Yo **M.Sc. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE**, usuario revisor de la Tesis titulada: ***“Influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de naranja (Citrus Sinensis) y limòn (Citrus Lemon) en la remoción de plomo de soluciones acuosas.”***

Cuyo autor (es) son: **Bach. Irigoín Marrufo César Elí y Bach. Ramírez Larreátegui Javier**; identificado (a) (os) (as) con documento de identidad: **44894558 y 47792861**; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud 17%, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito (a) analizó reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos,

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 10 de enero del 2024



Firma (Asesor)

**Ada Patricia Barturen Quispe**

DNI N<sup>a</sup>16721885

Se Adjunta:

*Resumen de Reporte automatizado de similitudes*

*Recibo digital*

# Influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de naranja (Citrus sinensis) y limón (Citrus lemon) en la remoción de plomo de soluciones acuosas

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.scielo.org.bo">www.scielo.org.bo</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://bibliotecadigital.exactas.uba.ar">bibliotecadigital.exactas.uba.ar</a> Fuente de Internet	1%



Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE  
Asesora

9	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	<1 %
12	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
16	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	<1 %
17	dialnet.unirioja.es Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
19	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unsa.edu.pe	



Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE  
Asesora

Fuente de Internet

<1 %

21

MARÍA ALEJANDRA AGUDELO MOTATO. "La revalorización del uso de almidón de tapioca. Estrategia multienfoque en su aplicación en rellenos de fruta", Universitat Politecnica de Valencia, 2014

Publicación

<1 %

22

[repositorio.unf.edu.pe](http://repositorio.unf.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

23

[repositorio.unsch.edu.pe](http://repositorio.unsch.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

24

Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

<1 %

25

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Fuente de Internet

<1 %

26

[repositorio.unh.edu.pe](http://repositorio.unh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

27

[repositorio.uwiener.edu.pe](http://repositorio.uwiener.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

28

[www.repositorio.unam.edu.pe](http://www.repositorio.unam.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

29

[www.unilibre.edu.co](http://www.unilibre.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %



Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE  
Asesora

30	Submitted to Universidad de Jaén Trabajo del estudiante	<1 %
31	Submitted to ueb Trabajo del estudiante	<1 %
32	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
33	Minerva Rentería-Ortega, María de Lourdes Colín-Alvarez, Víctor Alfonso Gaona-Sánchez, Mayra C. Chalapud et al. "Characterization and Applications of the Pectin Extracted from the Peel of Passiflora tripartita var. mollissima", Membranes, 2023 Publicación	<1 %
34	Samira Sheikhi, Behjat Jebalbarez, Reza Dehghanzadeh, Ammar Maryamabadi, Hassan Aslani. "Sulfamethoxazole oxidation in secondary treated effluent using Fe(VI)/PMS and Fe(VI)/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> processes: Experimental parameters, transformation products, reaction pathways and toxicity evaluation", Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022 Publicación	<1 %
35	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %



Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE  
Asesora







## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: cesar irigoín  
Título del ejercicio: Tesis\_Cesar\_Irigoín  
Título de la entrega: Influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas d...  
Nombre del archivo: citrus\_lemon\_en\_la\_remoci\_n\_de\_plomo\_de\_soluciones\_acuo...  
Tamaño del archivo: 23.69M  
Total páginas: 91  
Total de palabras: 11,370  
Total de caracteres: 60,929  
Fecha de entrega: 10-feb.-2024 08:11p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2276698480



**UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO  
RUIZ GALLO"**

FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA

**TESIS**

**"Influencia del pH y tiempo de contacto de las membranas de  
naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus lemon*) en la remoción de  
plomo de soluciones acuosas"**


PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:  
**Bach. Irigoín Marrufo César Eli**  
**Bach. Ramírez Larreátegui Javier**

ASESOR:  
**Dra. Barturen Quispe Ada Patricia**

COASESOR:  
**M.Sc. Vázquez Llanos Segundo Alberto**

LAMBAYEQUE-PERÚ  
2024



Dra. ADA PATRICIA BARTUREN QUISPE  
Asesora