

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**Análisis de floculantes orgánicos a partir de desechos naturales  
(cáscaras de cacao y cítricos) para el tratamiento de aguas residuales.**

**Disertación previa a la obtención del título de Químico**

**GEOVANNA LIZBETH REINOSO ROMERO**

Director de Disertación: Ph.D. Ernesto de la Torre Chauvin

Área de investigación: Bioquímica

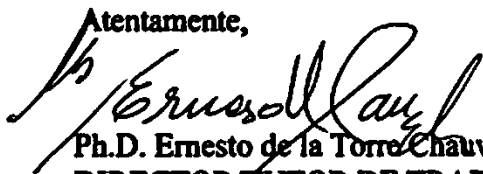
**Quito, Julio 2024**

**CERTIFICACIÓN DEL DOCENTE-DIRECTOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y  
NATURALES**

**CARRERA DE QUÍMICA**

Yo, Ph.D. ERNESTO DE LA TORRE CHAUVIN con cédula de identidad 1705612230, certifico que el presente trabajo de integración curricular *Análisis de floculantes orgánicos a partir de desechos naturales (cáscaras de cacao y cítricos) para el tratamiento de aguas residuales* elaborado por la estudiante Geovanna Lizbeth Reinoso Romero con cédula de identidad 1805123443 ha concluido de acuerdo con las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Atentamente,



Ph.D. Ernesto de la Torre Chauvin

**DIRECTOR/TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**C.I. 1705612230**

**FECHA: 04/07/2024**

## DEDICATORIA

*A mis padres, Juan y Diana por ser mi apoyo incondicional y ayudarme a nunca rendirme para alcanzar todos mis objetivos.*

*A mi hermano, Juan José por ser siempre mi inspiración a ser una mejor persona todos los días.*

*A mis abuelos por ser mis segundos padres y brindarme un amor incondicional.*

*A Julio Vinuesa, hasta el cielo donde vivirá siempre en nuestros corazones*

*A mis amigos, amigas y docentes por acompañarme en esta carrera brindándome siempre sus conocimientos y apoyo...*

## AGRADECIMIENTOS

*A mi director de tesis, el Ph.D. Ernesto de la Torre por su constante apoyo y confianza a lo largo de este trabajo.*

*A mis lectores, el Msc. Pablo Pozo y Dr. José Luis Piñeiros, por brindarme sus conocimientos y comentarios constructivos que sin duda han enriquecido este trabajo.*

*A mis docentes Ph.D. Katherine Vaca y Mst. Gabriela Cueva por siempre brindarme su ayuda y conocimientos, no solo en este trabajo, si no a lo largo de este recorrido de constante aprendizaje.*

...

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>IV</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ABSTACRT .....</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Agua .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Floculantes .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3. Aprovechamiento de residuos orgánicos.....</b>	<b>6</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>4.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>8</b>
<b>4.3. INDICADORES .....</b>	<b>8</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>9</b>
<b>6. DESARROLLO.....</b>	<b>10</b>
<b>6.1. FLOCULANTES A PARTIR DE DESECHOS DE CACAO.....</b>	<b>10</b>
<b>6.1.1. PRINCIPIO ACTIVO .....</b>	<b>10</b>
<b>6.1.2. DESARROLLO DEL FLOCULANTE.....</b>	<b>11</b>
<b>6.1.3. ENSAYOS .....</b>	<b>13</b>
<b>6.1.4. RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>6.2. FLOCULANTES A PARTIR DE DESECHOS DE CÍTRICOS.....</b>	<b>15</b>
<b>6.2.1. PRINCIPIO ACTIVO .....</b>	<b>16</b>
<b>6.2.2. DESARROLLO DEL FLOCULANTE.....</b>	<b>16</b>
<b>6.2.3. ENSAYOS .....</b>	<b>18</b>
<b>6.2.4. RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
<b>7. DISCUSIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>8. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>44</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ensayos para evaluar la actividad floculante de la pectina. ....	13
<b>Tabla 2.</b> Resultados del test de jarras con el floculante orgánico.....	14
<b>Tabla 3.</b> Composición de la naranja y sus partes. ....	15
<b>Tabla 4</b> Prueba de jarras realizado por Laura Virginia (2018) .....	19
<b>Tabla 5</b> Ensayo para evaluar la capacidad de remoción del floculante.....	20
<b>Tabla 6</b> Ensayos para determinar la capacidad de remoción del floculante.....	20
<b>Tabla 7</b> Ensayos para la determinación de pH óptimo de floculación. ....	21
<b>Tabla 8</b> Ensayos para la determinación de tiempo óptimo de floculación. ....	21
<b>Tabla 9</b> Ensayos para la determinación del tamaño de partícula óptima de floculación.	22
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje de mezcla del biofloculante.....	23
<b>Tabla 11.</b> Ensayos para determinar las condiciones óptimas de trabajo del biofloculante.	23
<b>Tabla 12</b> Características de la pectina reticulada. ....	24
<b>Tabla 13</b> Caracterización de la muestra de agua del río Chili.....	24
<b>Tabla 14.</b> Resultados de la capacidad de floculación de la pectina de naranja reticulada.	25
<b>Tabla 15.</b> Resultados de la capacidad de remoción de metales pesados de la cáscara de naranja reticulada. ....	26
<b>Tabla 16.</b> Resultados de la capacidad de floculación de la pectina de limón reticulada.	26
<b>Tabla 17</b> Resultados de la capacidad de remoción de metales pesados de la pectina de limón reticulada.....	27
<b>Tabla 18</b> Resultados de la capacidad de floculación de la pectina de mandarina reticulada. ....	28
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la capacidad de remoción de metales pesados de la pectina de mandarina reticulada.....	29
<b>Tabla 20.</b> Resultado del ensayo 1 de la capacidad de remoción de plomo de la pectina de naranja reticulada. ....	32
<b>Tabla 21.</b> Resultado del ensayo 2 de la capacidad de remoción de plomo de la pectina de naranja reticulada.....	32
<b>Tabla 22</b> Resultado del ensayo 3 de la capacidad de remoción de plomo de la pectina de naranja reticulada. ....	32
<b>Tabla 23.</b> Resultado del ensayo 1 de la capacidad de remoción de cadmio de la pectina de naranja reticulada. ....	33
<b>Tabla 24.</b> Resultado del ensayo 2 de la capacidad de remoción de cadmio de la pectina de naranja reticulada.....	34
<b>Tabla 25.</b> Resultado del ensayo 3 de la capacidad de remoción de cadmio de la pectina de naranja reticulada. ....	34
<b>Tabla 26.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (JUGO) reticulada a distintos niveles de pH. ....	35
<b>Tabla 27.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (HUANDO) reticulada a distintos niveles de pH. ....	35

<b>Tabla 28.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (JUGO) reticulada a distintos tiempos de floculación, .....	36
<b>Tabla 29.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (HUANDO) reticulada a distintos tiempos de floculación. ....	36
<b>Tabla 30.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (JUGO) reticulada a distintos tamaños de partícula. ....	36
<b>Tabla 31.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (HUANDO) reticulada a distintos tamaños de partícula. ....	37
<b>Tabla 32.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cr <sup>6+</sup> a pH 3 con distintas dosis de pectina reticulada de cáscara de naranja y plátano. ....	37
<b>Tabla 33.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cr <sup>6+</sup> a pH 3 con distintas dosis de pectina reticulada de cáscara de naranja y plátano. Duplicado.....	38
<b>Tabla 34.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cr <sup>6+</sup> a pH4 con distintas dosis de pectina reticulada de cáscara de naranja y plátano. ....	38
<b>Tabla 35.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cr <sup>6+</sup> a pH 4 con distintas dosis de pectina reticulada de cáscara de naranja y plátano. Duplicado.....	39
<b>Tabla 36.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cr <sup>6+</sup> a pH 5 con distintas dosis de pectina reticulada de cáscara de naranja y plátano. ....	39
<b>Tabla 37.</b> Resultados de la capacidad de remoción de Cr <sup>6+</sup> a pH 5 con distintas dosis de pectina reticulada de cáscara de naranja y plátano. Duplicado.....	40

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> Proceso de investigación y recolección de información del tema.....	9
<b>Figura 2</b> Diagrama de pretratamiento de la cáscara de cacao.....	12
<b>Figura 3</b> Diagrama de proceso de la extracción de pectina de la cáscara de cacao. ....	13
<b>Figura 4</b> Tratamiento de las cáscaras de cítricos antes de la reticulación.....	17
<b>Figura 5</b> Proceso de reticulación.....	17
<b>Figura 6</b> Reticulación de la pectina.....	18
<b>Figura 7.</b> Turbidez vs Pectina de naranja reticulada. ....	25
<b>Figura 8</b> Turbidez vs Pectina de limón reticulada.....	27
<b>Figura 9.</b> Turbidez vs pectina de mandarina reticulada. ....	29
<b>Figura 10.</b> Efecto del pH en la adsorción de Pb (II). Pectina de cáscara de naranja reticulada. .....	30
<b>Figura 11.</b> Dosis de pectina de naranja reticulada vs Concentración de Pb (II). ....	31

## 1. RESUMEN

El agua es de los recursos naturales más importantes para el desarrollo de la sociedad, viéndose amenazado por la contaminación de la mano humana, por lo que es necesario encontrar alternativas de clarificación de agua que sean amigables con el medio ambiente. En este trabajo fundamentado en una revisión bibliográfica analiza de qué manera actúan los floculantes procedentes de cáscaras de cacao y cítricos en el tratamiento de aguas residuales. El objetivo es analizar la eficiencia de estos los floculantes para la remoción de turbidez y metales pesados en muestras de aguas naturales y sintéticas, sometidas a distintas condiciones de pH, tiempo de floculación y tamaño de partícula. Para esto fue necesario determinar el principio activo de las cáscaras la cual es responsable de la actividad floculante, encontrando así a la pectina. En el desarrollo se presentaron distintos estudios donde, mediante tres distintos procesos para desarrollar el floculante, se realizaron varios ensayos para evaluar su efectividad y los porcentajes de remoción que puede tener frente a distintos metales pesados como  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$  y As. También se analizó cómo se comportan los floculantes a distintos niveles de pH, tamaños de partícula y tiempo de floculación. En todos los estudios se tuvieron resultados favorables, concluyendo así que los floculantes a base de cáscara de cacao y cítricos son efectivos para la disminución de concentraciones de metales pesados y turbidez en el agua.

**Palabras clave:** floculación, remoción, metales pesados, turbidez, pH, tamaño de partícula, pectina.

## 2. ABSTACRT

Water is one of the most important natural resources for the development of society, being threatened by human contamination, so it is necessary to find alternatives for water clarification that are environmentally friendly. This work, based on a literature review, analyzes how flocculants from cocoa and citrus shells act in waste water treatment. The objective is to analyze the efficiency of these flocculants for the removal of turbidity and heavy metals in natural and synthetic water samples, subjected to different pH, flocculation time and particle size conditions. For this it was necessary to determine the active principle of the peels which is responsible for the flocculant activity, thus finding pectin. In the development of the flocculant, different studies were presented where, by means of three different processes to develop the flocculant, several tests were carried out to evaluate its effectiveness and the removal percentages that it can have against different heavy metals such as  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$  and As. It was also analyzed how the flocculants behave at different pH levels, particle sizes and flocculation time. All studies showed favorable results, concluding that cocoa and citrus peel-based flocculants are effective in reducing heavy metal concentrations and turbidity in water.

**Keywords:** Flocculation, Clearance, Heavy metals, Turbidity, pH, Size of particle, Pectin.

### 3. INTRODUCCIÓN

Este trabajo basado en una investigación bibliográfica especializada pretende investigar y analizar la eficiencia de flocculantes orgánicos procedentes de desechos naturales para el tratamiento de aguas residuales, como base para futuros trabajos experimentales que logren establecer procesos para aprovechar industrialmente estos desechos agroindustriales.

El agua es un recurso natural importante en el desarrollo de la humanidad y para la vida en el ecosistema. Muchas de las actividades del ser humano se centran en el uso de agua, como consumo, agricultura, aseo personal, procesos industriales, entre otros (Ortega Ramírez & Sánchez Rodríguez, 2021). Desde el inicio de las primeras sociedades, el ser humano ha dejado su marca en el medio ambiente causando problemas de contaminación debido a la mala gestión de sus recursos y un control pobre sobre la disposición sus desechos. El agua debe tener un tratamiento adecuado dependiendo del uso que se lo de, pero una etapa primordial en cualquier procedimiento es la disminución o eliminación de sólidos suspendidos (OMS, 2016).

Los sólidos suspendidos son partículas micrométricas en suspensión que afectan varios parámetros del agua tales como la turbidez, temperatura y oxígeno disuelto. Forman parte de las sustancias inherentes en la composición del agua cruda, agua que según la normativa INEN 1108 es “aquella que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas” (2014) y puede presentar materia y microorganismos perjudiciales para la salud. Controlar los niveles de sólidos suspendidos en el agua es importante porque una gran concentración de estos materiales provoca que el agua tenga mal sabor y color por lo que es inadecuada para el aseo personal o doméstico, y mucho menos para el consumo humano (Ramírez-Sánchez et al., 2015).

Por otro lado, los flocculantes son sustancias químicas capaces de captar material suspendido o particulado en agua con el fin de mejorar su calidad y reducir el impacto de

estos contaminantes al medio ambiente y a la salud. Al ejercer un tratamiento de aguas por floculación se eliminan concentraciones de sólidos suspendidos totales, colorantes, metales pesados y turbidez, disminuyendo también los valores de la demanda química de oxígeno (Oré Cierro et al., 2024). En el tratamiento de agua potable los floculantes más utilizados son los químicos, mientras que a los floculantes orgánicos no se le da la importancia necesaria a pesar de sus varios beneficios. Estos últimos tienen la misma actividad adsorbente de los floculantes químicos convencionales, reducen las trazas de contaminantes en el agua.

Por estos motivos, utilizar floculantes orgánicos puede significar una reducción de costos en la producción, porque su elaboración no requiere de materiales y reactivos costosos, acompañado de procesos rápidos de secado, lavado y pulverizado

### **3.1. Agua**

El agua es un compuesto químico que está formado por dos átomos de hidrógeno unidas por enlaces covalentes a un átomo de oxígeno, es la molécula más abundante en el planeta tierra. Se caracteriza por ser un líquido en condiciones normales de temperatura y presión, incoloro, insípido e inodoro. De acuerdo con el anexo 1 del libro VI del TULSMA (2015) el agua se puede clasificar dependiendo que solutos están disueltos o de su procedencia:

- Agua potable

El agua potable es aquella que pasa por un tratamiento de potabilización que está destinada para el consumo humano.

- Agua salada o marina

Es aquella que posee una concentración elevada de sales, la sal más común es el cloruro de sodio.

- Aguas negras

Son conocidas también como aguas servidas o cloacales, y se definen como aquellas aguas residuales que contienen restos de orina y heces fecales, sea tanto de animales como de seres humanos.

- Aguas grises

Son otro tipo de aguas residuales, pero a diferencia de las aguas negras, estas están contaminadas con detergentes o jabones domésticos. Generalmente provienen del uso de agentes químicos que son altamente contaminantes al agua como detergentes para lavavajillas o jabones.

- Aguas muertas

Estas aguas carecen de circulación, es decir, no tienen un flujo o camino por recorrer como los ríos. Por esta condición generalmente tienen déficit de oxígeno.

- Agua dulce

Es aquella que contiene valores inferiores a 0,5 UPS (unidad práctica de salinidad que representa la cantidad de gramos de sales disueltas por kg de agua).

- Agua destilada

Es aquella que ha sido sometida a un proceso de destilación con el fin de eliminar impurezas o contaminantes y se utiliza generalmente en el campo de la química tanto en laboratorio como en la industria.

- Agua cruda o bruta

Son aguas procedentes de reservas naturales y que no han recibido ningún tipo de tratamiento previo para consumo humano o uso en la industria. Se caracteriza por tener contaminantes naturales como microorganismos, materia orgánica e inorgánica y turbidez.

### **3.2.Floculantes**

La floculación es un método que ayuda a la separación a escala micrométrica de partículas suspendidas en un líquido (generalmente en agua) al añadir productos químicos

que tengan capacidad adsorbente (Tie et al., 2015). Esto facilita la decantación y posterior filtración del agua, con el fin de clarificarla y de eliminar material externo. Este proceso se da por la diferencia de las cargas superficiales de los sólidos suspendidos y del floculante, lo que ayuda a neutralizar la carga negativa de estas partículas suspendidas reduciendo la repulsión electrostática entre ellas, permitiendo su acumulación (Villaseñor-Basulto et al., 2018).

Existen varios tipos de floculantes utilizados en la actualidad. Los adsorbentes como el carbón activado es capaz de formar pequeños flóculos al adsorber pequeñas partículas coloidales. Los polielectrolitos son polímeros, sintéticos o naturales, que tienen la capacidad de formar flóculos dependiendo de su carga superficial. Pueden ser neutros o no iónicos y generalmente trabajan en pH 7, aniónicos o de carga superficial negativa capaz de remover sólidos de carga superficial positiva como metales pesados, mientras que los catiónicos o de carga superficial positiva remueven sólidos de carga negativa como materia orgánica y bacterias (Pérez de la Cruz & Urrea, 2019).

Las aguas contaminadas o residuales forman parte de los problemas actuales a la que se le debe dar la importancia necesaria, para ello se han desarrollado sistemas de tratamientos de purificación donde aplican procesos físicos y químicos. En términos generales, durante el pretratamiento se separan sólidos grandes, aceites o arenas por métodos físicos (diferencia de densidades, mallas, tamices) para posteriormente pasar a tratamientos primarios y secundarios donde se dan procesos de filtración, sedimentación y decantación, o clarificaciones del agua con productos químicos como cloro o sulfato de aluminio como floculante (Achak et al., 2019).

### **3.3. Aprovechamiento de residuos orgánicos.**

La biomasa es materia orgánica generalmente desechada por los seres vivos, puede ser aprovechada como materia prima para distintos fines como la producción de energía o producción de biocombustibles (Chávez Altamirano et al., 2021). Por ejemplo, la cáscara de la naranja, a pesar de sus varias ventajas, es uno de los desechos orgánicos

menos aprovechados a nivel mundial. Dicho material se puede procesar para utilizarlo como floculante natural debido a la presencia de compuestos activos como la pectina. La pectina o ácido poli galacturónico es un polisacárido de varias moléculas de ácido D-galacturónico enlazadas en una cadena lineal (Avalos Jaime, 2023).

Utilizar residuos orgánicos como floculantes en el tratamiento de aguas residuales muestra varias ventajas, desde la disminución del impacto ambiental, menor toxicidad que los floculantes inorgánicos hasta la promoción de economía circular.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Investigar y analizar la eficiencia de flocculantes orgánicos procedentes de desechos naturales para el tratamiento de aguas residuales, presentados en diversas fuentes bibliográficas reportadas en la literatura científica correspondiente.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

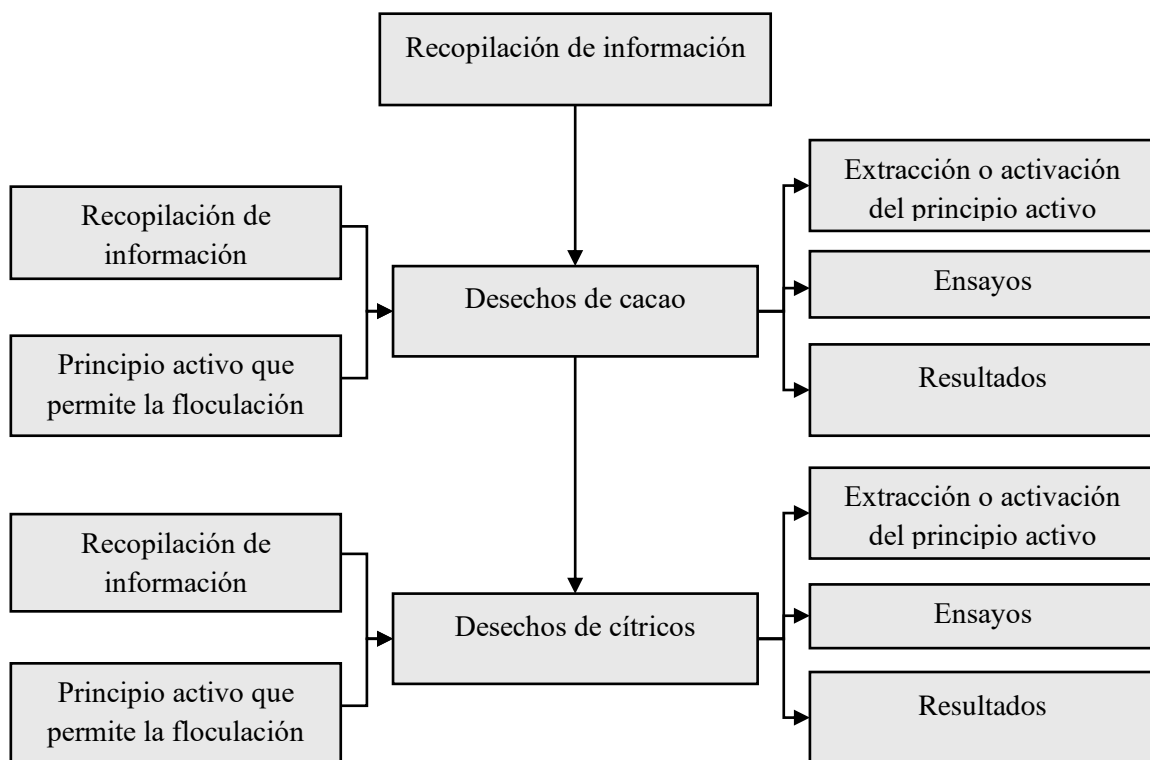
- Identificar los compuestos presentes en los desechos naturales que tienen capacidad flocculante.
- Exponer el impacto de distintas variables, como pH, tiempo, tamaño de partícula y dosis de flocculante en el proceso de flocculación.
- Evaluar la capacidad de remoción de metales pesados en agua como Arsénico, Plomo, Cromo, Cadmio y Cobre al tratarlos con flocculantes orgánicos.

### **4.3. INDICADORES**

- Reducción de turbidez, comparando valores iniciales y finales, después de agregar el flocculante orgánico en las muestras de aguas residuales.
- Determinación del porcentaje de remoción de contaminantes de las muestras de aguas residuales comparando concentraciones iniciales y finales.
- Análisis del rendimiento del flocculante en función del tiempo, dosis, pH y tamaño de partícula.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de evaluar la eficiencia de los floculantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales y analizar la viabilidad de su uso se llevará a cabo una revisión amplia y exhaustiva de literatura relacionada con el tema. Asimismo, toda la información recopilada se analizará para determinar si los floculantes orgánicos son una alternativa viable y sostenible a los floculantes inorgánicos de sales metálicas. Los temas que se abordarán se dividen en secciones específicas y claras para que exista un flujo lógico de la información recopilada, esto permitirá una mejor comprensión para el lector y un mejor análisis del tema. A continuación, se presentará un diagrama del método de recopilación de información.



**Figura 1** Proceso de investigación y recolección de información del tema.

**Fuente:** Elaborado por el autor.

## 6. DESARROLLO

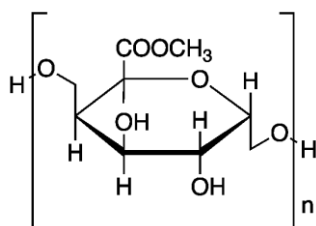
### 6.1. FLOCULANTES A PARTIR DE DESECHOS DE CACAO.

Ecuador está entre los tres países de mundo de mayor producción y exportación de cacao fino de aroma, abarcando el 62% del mercado global (Vicepresidencia del Ecuador, 2015). Tal producción también genera grandes cantidades de desechos orgánicos que se pueden utilizar de distintas maneras y en distintos ámbitos. Actualmente un pequeño porcentaje de las cáscaras de cacao se aprovechan para la producción de artesanías, vinos o galletas a pequeña escala, aun así, gran parte es desechada desperdiciando su gran potencial como floculante.

El uso de la cáscara de cacao como floculante enfrenta el desaprovechamiento de los residuos naturales. Aun cuando Ecuador es el país con más producción de cacao fino de aroma a nivel mundial no existe la decisión de aprovechar todas las ventajas y beneficios que nos puede ofrecer.

#### 6.1.1. PRINCIPIO ACTIVO

La pectina es un polisacárido conformado por la unión en cadena del ácido galacturónico, también considerado como un biopolímero, que se encuentra mayormente en las cáscaras o tejidos de gran variedad de vegetales y frutas. Esta se caracteriza por sus propiedades gelificantes, alta solubilidad en agua y viscosidad (García-García et al., 2023).



**Figura 2** estructura química de la pectina

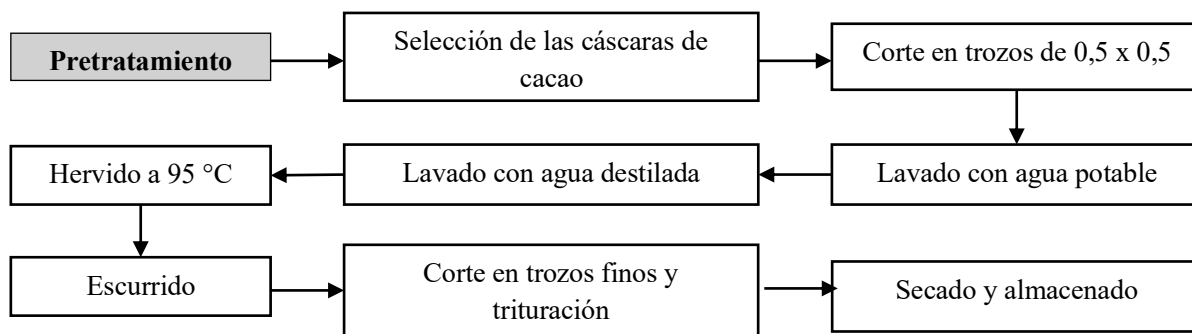
El grado de metoxilo es la cantidad de grupos carboxilos presentes en la cadena polimérica, las cuales se pueden esterificar formando grupos metoxilo. Esto afecta a las propiedades de la pectina y va a depender del origen del fruto o vegetal del cual se extrae. En el caso del cacao, la pectina es de un bajo grado de metoxilo, menor al 50% (Dubey et al., 2023).

### **6.1.2. DESARROLLO DEL FLOCULANTE**

En el trabajo realizado por Limhi Flores (2020) se realizó el floculante en dos procesos. El primer proceso consistía en un pretratamiento de la cáscara de cacao antes de empezar con la extracción de pectina.

Para esto se recolectaron 5 Kg de cáscaras de cacao y se seleccionaron las que estén en buenas condiciones para que la pectina que se extraiga sea de la mejor calidad, mientras que las que ya estaban en un proceso de descomposición se desechaban. Las cáscaras seleccionadas se cortaban en trozos aproximados de 0,5 x 0,5 cm para pasarlos por una primera lavada con abundante agua potable con el fin de eliminar impurezas que se encuentran en la superficie y posteriormente se realizó un segundo lavado con agua destilada.

Ya con las cáscaras de cacao limpias se lo llevaron a hervir durante 10 minutos en agua destilada a 95 °C, se colaron, lavaron con agua destilada nuevamente y escurrieron. Para facilitar el secado se cortaron en trozos más finos y se trituraron en un molino mecánico. El secado se realizó durante 48 horas al sol y 24 horas a la estufa a 80 °C. Las muestras secas se almacenaron en fundas de polietileno de alta densidad para que no se hidrate con la humedad del ambiente.



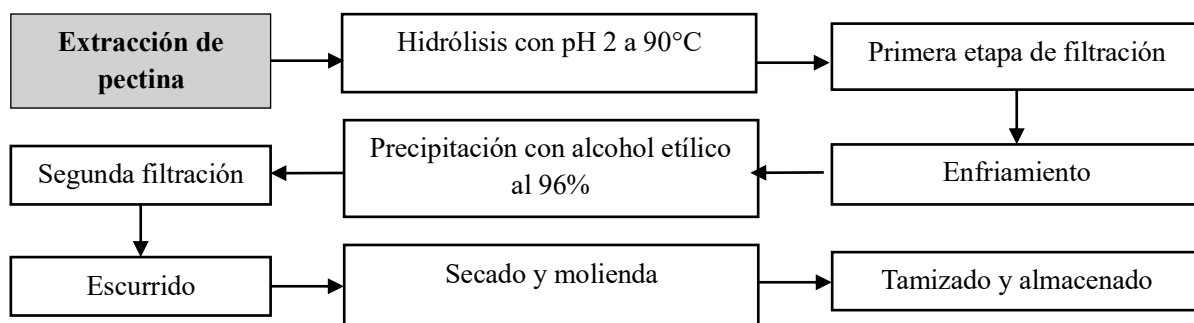
**Figura 2** Diagrama de pretratamiento de la cáscara de cacao.

**Fuente:** Limhi Flores (2020).

El siguiente proceso es la extracción de pectina, que se hizo por hidrólisis ácida con ácido cítrico, aunque también se puede realizar la hidrólisis con ácido clorhídrico (García-García et al., 2023).

Se colocó en un recipiente una relación 1:10 de la cáscara de cacao pretratada con agua acidulada (agua carbonatada o efervescente). A esta suspensión se adicionó ácido cítrico hasta alcanzar un pH 2 y se llevó a 95 °C de 60 a 90 minutos. Pasado el tiempo se llevó a una primera etapa de filtrado con una tela doble capa donde se separa el líquido que contiene la pectina del residuo fibroso. Este se refrigeró a 10 °C y se agregó la misma cantidad del líquido con pectina de alcohol etílico al 96%. Se agitó vigorosamente por 10 minutos y se dejó reposar por 16 horas para obtener un precipitado donde se encontraría la pectina. Con una segunda etapa de filtrado se separó el alcohol etílico de la pectina utilizando la tela doble capa.

Se purificó la pectina mediante tres lavados con alcohol, la primera con alcohol al 90%, la segunda al 60% y la tercera al 90%, y finalmente se volvió a filtrar. Ya purificada se llevó a la estufa a una temperatura de 80 °C por tres horas. La pectina seca se sometió a molienda para disminuir el tamaño de partícula y se almacenó herméticamente. El rendimiento fue de un 0,2% con 9,82 g de pectina extraída a partir de 5000 g de cáscaras de cacao.



**Figura 3** Diagrama de proceso de la extracción de pectina de la cáscara de cacao.

**Fuente:** Limhi Flores (2020).

Toda la metodología del desarrollo del floculante natural a partir de cáscaras de cacao fue en base al trabajo realizado por Limhi Flores (2020).

### 6.1.3. ENSAYOS

Para determinar la actividad floculante se realizó mediante la prueba de jarras. Las muestras de agua fueron tomadas del Río Chillón, que está ubicada en la costa de Perú. En este río se desecha aguas residuales industriales, por lo que es un buen candidato para evaluar la capacidad del floculante de la pectina.

Se realizaron 5 distintas concentraciones de floculantes: 0,05, 0,1, 0,15, 0,20 y 0,25 mg/mL, con volúmenes respectivos de 3 mL a 15 mL que van incrementando en 3 mL cada uno. Los ensayos se realizaron como indica la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Ensayos para evaluar la actividad floculante de la pectina.

Tiempo	pH	Concentración de floculante
46 minutos	3	0,05 mg/mL
		0,10 mg/mL
		0,15 mg/mL
		0,20 mg/mL

	4	0,25 mg/mL
		0,05 mg/mL
		0,10 mg/mL
		0,15 mg/mL
		0,20 mg/mL
	5	0,25 mg/mL
		0,05 mg/mL
		0,10 mg/mL
		0,15 mg/mL
		0,20 mg/mL
		0,25 mg/mL

Fuente: Limhi Flores (2020).

#### 6.1.4. RESULTADOS

**Tabla 2.** Resultados del test de jarras con el floculante orgánico.

Número de prueba	Tiempo (minutos)	pH	Concentración (mg/mL)	Turbidez inicial NTU	Turbidez final NTU	% de remoción
1	46 min	3	0,05	704	18,9	97,3
2			0,10		14,5	97,9
3			0,15		9,46	98,7
4			0,20		9,89	98,6
5			0,25		4,48	99,4
6		4	0,05		85	87,9
7			0,10		66,3	90,6
8			0,15		52,1	92,6
9			0,20		27	96,2
10			0,25		9,8	98,6
11		5	0,05		185	73,7
12			0,10		145	79,4
13			0,15		99,6	85,9
14			0,20		98,8	86
15			0,25		11,4	98,4

Fuente: Limhi Flores (2020).


En la Tabla 2 se observa que el mejor resultado de todos los ensayos es el número 5, con un porcentaje de remoción del 99,4%. Aun así, todas las pruebas muestran resultados positivos, con un rango de 73,7% hasta 99,4% de eliminación de turbidez.

## 6.2. FLOCULANTES A PARTIR DE DESECHOS DE CÍTRICOS

Los cítricos como la mandarina, naranja y limón son un tipo de frutas originarias de Asia, que actualmente son cultivadas alrededor del mundo. Estos son ampliamente consumidos por sus varios beneficios ya que son una fuente importante de vitamina C (ácido ascórbico), flavonoides, pectina, glucósidos y posee gran capacidad antioxidante (García Villegas et al., 2011).

Únicamente en producción de naranja, Ecuador cultiva y vende cerca de 114.000 toneladas por año, lo que representa una fuente primordial de desechos orgánicos, ya que se aprovecha únicamente la pulpa o zumo del fruto mientras que el albedo, flavedo y endocarpio se eliminan sin aprovechar sus beneficios, como la obtención de aceites esenciales, pectina o el desarrollo de bioadsorbentes. En la Tabla 3 se presenta la composición de la naranja, la cual es similar a todos los demás cítricos.

**Tabla 3.** Composición de la naranja y sus partes.

		Elementos principales	Características/ Función	Imagen
<b>Parte de la Naranja</b>	<b>Flavedo</b>	Pigmentos	Dan el color amarillo o anaranjado (carotenoides).	
		Aceites esenciales	Predomina el limoneno	
	<b>Albedo</b>	Sustancias Pécicas	Embeber grandes cantidades de agua y forma un gel.	
		Glucósidos	El más importante es la hesperidina. También se encuentra en el jugo.	
	<b>Endo carpo</b>	Jugo	Alrededor del 80% del peso.	
		Proteínas y lípidos	Valores bajos. Mientras que el ácido cítrico supone el 90% de los ácidos totales.	
		Azúcares (naranja madura)	El 75% de sólidos solubles: glucosa (63%), fructosa (20%) y sacarosa (16%).	
		Vitaminas	Cantidades relevantes de ácido ascórbico (vitamina C).	

**Fuente:** Buenaño (2017).

### **6.2.1. PRINCIPIO ACTIVO**

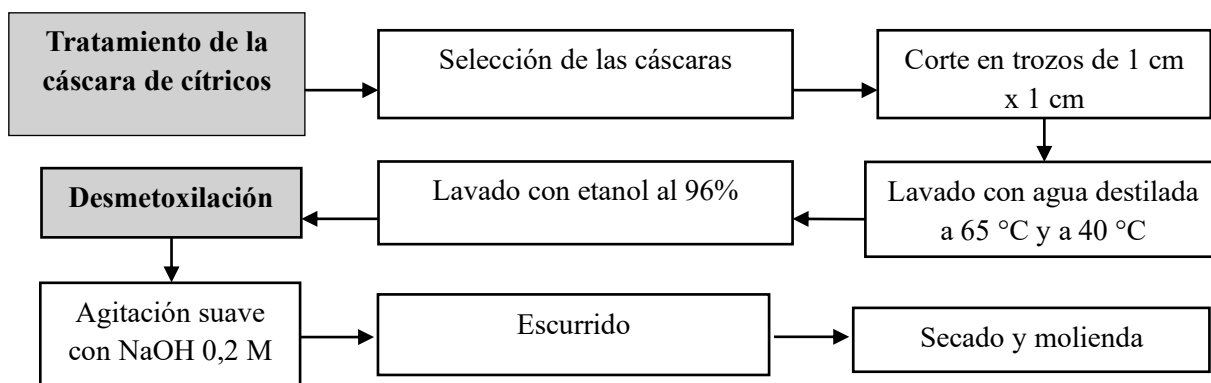
Al igual que en el cacao, el principio activo que actúa como floculante es la pectina. En este caso, los cítricos son la principal fuente de producción de pectina, que se ubica mayormente en la cáscara, ofreciendo hasta un 35% de este biopolímero. A diferencia de la pectina de la cáscara de cacao, esta es de alto grado de metoxilo con un nivel mayor al 50%.

### **6.2.2. DESARROLLO DEL FLOCULANTE**

En los trabajos realizados por Juan Carlos Muñoz (2007), Laura Virginia (2018), Melizza Aguilar (2018), Laura Arias (2019) y Ronaldo Casas (2023) se desarrollaron floculantes a partir de cáscaras de cítricos obteniendo pectina reticulada con cloruro de calcio.

Las cáscaras de naranja, mandarina y limón se cortaron en trozos aproximados de 1 cm x 1 cm para una mejor manipulación de estas. Se lavaron de dos a tres veces en agua destilada a 65 °C con el fin de eliminar residuos como azúcares, polímeros de cadena corta que se puedan encontrar en el medio, glucósidos, ácido cítrico y aceites esenciales que se encuentran en la superficie de la cáscara. Posteriormente se realizó tres lavados con agua destilada a 40 °C y un lavado con etanol al 96 % por 30 minutos para arrastrar las impurezas restantes.

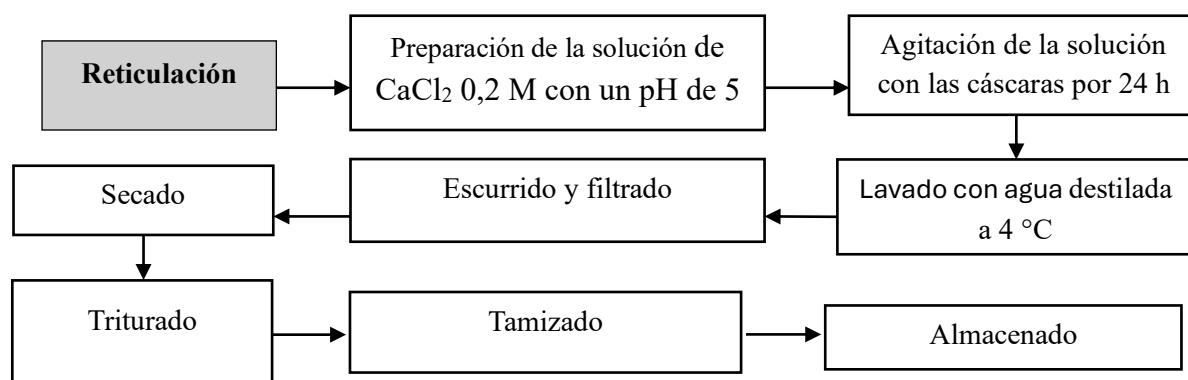
Las cáscaras ya limpias se llevaron a una etapa de desmetoxilación, para esto se preparó una solución 0,2 M de hidróxido de sodio con un pH de 10 a 11, donde estas se sumergieron y se mantuvieron en agitación suave por un tiempo de dos horas a 4 °C. Transcurrido el tiempo, se escurrió y se secó en la estufa por cuatro horas a 60 °C para luego triturarlo y molerlo.



**Figura 4** Tratamiento de las cáscaras de cítricos antes de la reticulación

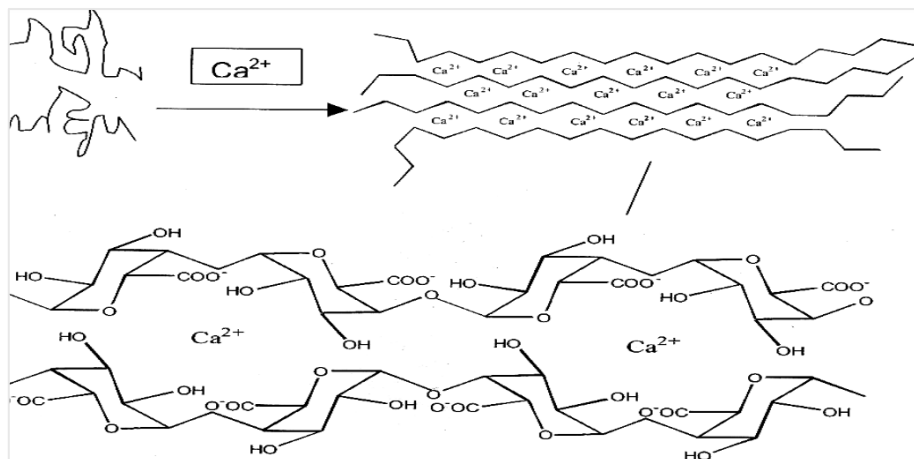
**Fuente:** Juan Carlos Muñoz (2007), Laura Virginia (2018), Melizza Aguilar (2018), Laura Arias (2019) y Ronaldo Casas (2023).

Con las cáscaras de los cítricos ya tratadas se realiza la reticulación de la pectina presente, para esto se sumergen las cáscaras por 24 horas en agitación permanente en una solución de  $\text{CaCl}_2$  0,2 M con un pH de 5. A continuación se lavaron las cáscaras ya reticuladas con abundante agua destilada o desionizada a 4 °C para que el exceso de calcio se arrastre con el agua. Se escurrieron y se llevó a la estufa a una temperatura de 45 °C por 8 horas para eliminar la humedad. Posteriormente se trituraron y tamizaron hasta un tamaño de partícula de 180 a 150 micras. Así el floculante estuvo listo para ser almacenado herméticamente y para su posterior uso.



**Figura 5** Proceso de reticulación.

**Fuente:** Juan Carlos Muñoz (2007), Laura Virginia (2018), Laura Arias (2019) y Ronaldo Casas (2023).



**Figura 6** Reticulación de la pectina.

**Fuente:** Juan Carlos Muñoz (2007).

### 6.2.3. ENSAYOS

En el trabajo titulado “**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**” elaborado por Laura Virginia (2018) las muestras de agua fueron recolectadas en el río Chili ubicada en Arequipa, y el floculante fue hecho a partir de cáscaras de naranja, limón y mandarina.

Los ensayos se realizaron mediante la prueba de jarras, conforme a los pasos siguientes. En un equipo de jarras, que tiene agitadores tipo hélice, se colocó vasos de precipitación de 1000 mL a las que se agregaron 500 mL de la muestra de agua del río Chili. A cada muestra se le añadió concentraciones de floculante que iban desde los 2 g/v hasta los 110 g/v como lo representa la Tabla 4. La agitación duro 15 minutos a 40 revoluciones por minuto. Después se dejó sedimentar la solución por 15 minutos para determinar su efectividad.

**Tabla 4** Prueba de jarras para determinar la dosis óptima de floculante.

Volumen de muestra (mL)	Concentración de floculante (g/v)	Tiempo de agitación (minutos)	Tiempo de sedimentación (minutos)
500	2	15	15
	6		
	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
	60		
	70		
	80		
	90		
	100		
	102		
	104		
106			
108			
110			

Fuente: Laura Virginia (2018).

En el proyecto titulado “**Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “citrus cinensis” pretratada**” de Juan Carlos Muñoz (2007) el floculante se realizó solamente con cáscaras de naranja. Para este trabajo se utilizaros muestras de agua sintéticas con un pH 5 y a distintas concentraciones de plomo, así como se muestra en la Tabla 5.

Para el estudio de la actividad floculante se realizó mediante la adición de 0,2 g del floculante a los 5 matraces erlenmeyer con distintas concentraciones de plomo, estas se agitaron por 24 h a 200 revoluciones por minuto. Pasado el tiempo se filtraron y por espectroscopía de absorción atómica se determinó la cantidad de plomo restante en las muestras.

**Tabla 5** Ensayo para evaluar la capacidad de remoción del floculante.

<b>Cantidad de floculante (g)</b>	<b>Concentración de plomo (ppm)</b>
0,2	100
	200
	300
	400
	500

Fuente: Juan Carlos Muñoz (2007)

En el trabajo de titulación “**Evaluación de la cáscara de naranja citrus x síntesis como biosorbente para la remoción de plomo y cadmio en muestras sintéticas a nivel de laboratorio**” de Rolando Casas (2023) el floculante se realizó únicamente a base de cáscaras de naranja, mientras que las muestras de agua utilizadas fueron sintéticas, estas estaban a distintas concentraciones de plomo y cadmio que se realizaron a partir de nitrato de plomo y nitrato de cadmio respectivamente. De esta manera, a cada solución se la sometió a distintas concentraciones de floculante para evaluar la dosis óptima, así como lo ilustra la Tabla 6.

**Tabla 6** Ensayos para determinar la capacidad de remoción del floculante.

<b>Dosis de floculante (g)</b>	<b>Concentración de Cadmio (mg/L)</b>	<b>Concentración de plomo (mg/L)</b>
0,5	0,25	0,25
1		
1,5		
2		
2,5		
0,5	0,5	0,5
1		
1,5		
2		
2,5		
0,5	1	1
1		
1,5		
2		
2,5		

Fuente: Ronaldo Casas (2023).

En el trabajo de titulado “**Evaluación de la cáscara de naranja (citrus cinensis) como materia adsorbente natural de ion metálico Cu (II)**” realizado por Melizza Aguilar (2018) se utilizó cáscaras de dos tipos de naranjas, jugo y huando. Cada uno con su respectivo análisis. Las muestras de agua fueron preparadas en laboratorio con distintas concentraciones de Cu (II) que se realizaron a partir de CuSO<sub>4</sub>. En este trabajo se midieron varios parámetros para determinar las mejores condiciones a la que el floculante puede trabajar, tales como tiempo de agitación, pH y tamaño de partícula.

Para la analizar el pH optimo se modificó las muestras de agua a distintos pH y a distintas concentraciones de CuSO<sub>4</sub> agregando 2 gramos del floculante a cada uno, para luego someterlos a agitación constante por dos horas a 300 revoluciones por minuto. Así lo muestra la Tabla 7.

**Tabla 7** Ensayos para la determinación de pH óptimo de floculación.

<b>pH</b>	<b>Concentración de CuSO<sub>4</sub> (mmol/L)</b>	<b>Dosis de floculante (g)</b>
2	30	2
3	40	
4	50	
5	60	

**Fuente:** Melizza Aguilar (2018)

Al analizar el tiempo óptimo se añadió 2 gramos de floculante a 500 mL de cuatro distintas concentraciones de CuSO<sub>4</sub> respetivamente. Estas se sometieron a agitación constante a cuatro distintos periodos de tiempo, tal como se ilustra en la Tabla 8.

**Tabla 8** Ensayos para la determinación de tiempo óptimo de floculación.

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Concentración de CuSO<sub>4</sub> (mmol/L)</b>	<b>Dosis de floculante (g)</b>
30	30	2
60	40	
90	50	
120	60	

**Fuente:** Melizza Aguilar (2018).

De la misma manera se realizó la determinación del tamaño de partícula óptima. Cuatro soluciones de distinta concentración se sometieron a cuatro tratamientos con el floculante orgánico variando su tamaño de partícula. La dosis de floculante fue de dos gramos con una agitación de 300 revoluciones por minutos durante dos horas y a un pH de 4. Así como se observa en la Tabla 9.

**Tabla 9** Ensayos para la determinación del tamaño de partícula óptima de floculación.

Tamaño de partícula (µm)	Concentración de CuSO <sub>4</sub> (mmol/L)	Dosis de floculante (g)
210	30	2
297	40	
595	50	
640	60	

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

Finalmente, en el trabajo realizado por Laura Arias (2019) titulado “**Evaluación de la capacidad de remoción de Cr (VI) en solución con una mezcla de cáscara de naranja y cáscara de banano como bioadsorbente**” se utilizó la cáscara de naranja en conjunto con la cáscara de plátano para elaborar el biofloculante únicamente utilizando el proceso de la Figura 4, no se retículo la pectina. Las muestras de agua que se utilizaron en este trabajo fueron sintéticas, es decir, se desarrollaron en un laboratorio agregando cierta concentración de Cr (VI) y analizar la actividad del floculante realizado.

Los ensayos se realizaron de la siguiente manera. Se hicieron tres muestras distintas de floculante variando el porcentaje de cáscara de naranja y cáscara de plátano que se encontraban presentes, así como se presenta en la Tabla 10. Por otro lado, se preparó una solución 50 mg/L de Cr (VI) a partir de dicromato de potasio de 99,5 % de pureza. A continuación, se agregó 3 dosis distintas a 3 valores distintos de pH con las múltiples concentraciones de floculante a la solución de Cr (VI), así como lo muestra la Tabla 11. Son 27 los ensayos que se realizaron por duplicado, con un total de 54 ensayos.

**Tabla 10.** Porcentaje de mezcla del biofloculante.

Cantidad de floculante a base de cáscara de naranja (%)	Cantidad de floculante a base de cáscara de plátano (%)
75	25
50	50
25	75

Fuente: Laura Arias (2019)

**Tabla 11.** Ensayos para determinar las condiciones óptimas de floculación.

Número de muestra	pH	Dosis de floculante (g)	naranja-plátano %-%
1	3	10	75-25
2			50-50
3			25-75
4		20	75-25
5			50-50
6			25-75
7		30	75-25
8			50-50
9			25-75
10	4	10	75-25
11			50-50
12			25-75
13		20	75-25
14			50-50
15			25-75
16		30	75-25
17			50-50
18			25-75
19	5	10	75-25
20			50-50
21			25-75
22		20	75-25
23			50-50
24			25-75
25		30	75-25
26			50-50
27			25-75

Fuente: Laura Arias (2019)

## 6.2.4. RESULTADOS

(Laura Virginia, 2018).

En el trabajo hecho por Laura Virginia (2018) se caracterizó el floculante dando los siguientes resultados.

**Tabla 12** Características de la pectina reticulada.

<b>Parámetros</b>	<b>Pectina de naranja</b>	<b>Pectina de limón</b>	<b>Pectina de mandarina</b>
pH	6,25	6,55	5,55
% de humedad	13,14	12,57	12,76
% de cenizas	9,73	10,51	9,39
% de fibra	22,71	27,43	26,11

**Fuente:** Laura Virginia (2018)

Así también se caracterizó las muestras de agua del río Chili con los parámetros que se encuentra en la Tabla 13.

**Tabla 13** Caracterización de la muestra de agua del río Chili.

<b>Parámetros</b>	<b>Agua Río Chili</b>
Turbidez	13,6
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	10,0
Arsénico (mg/L)	0,02903
Cromo (mg/L)	0,0017
Plomo (mg/L)	0,00082

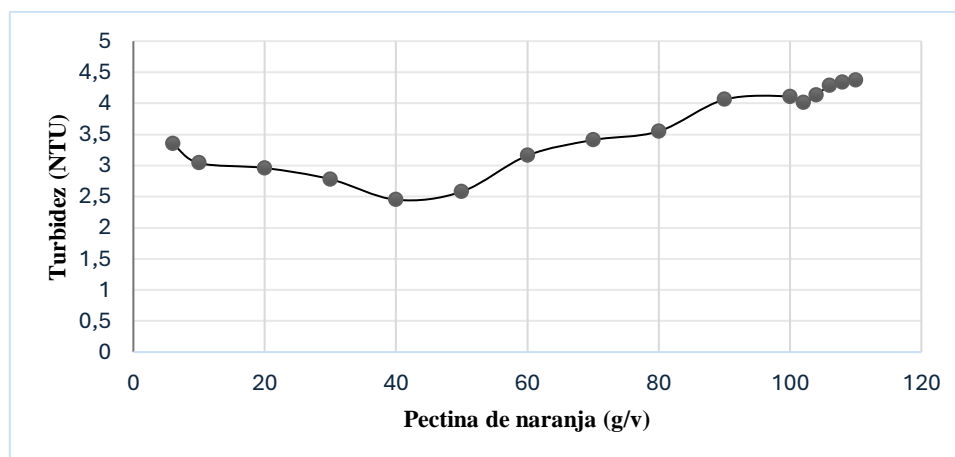
**Fuente:** Laura Virginia (2018)

De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados al agregar distintas dosis de la pectina de naranja reticulada a 500 mL de agua del río Chili, pH 3 constante y 15 minutos de floculación. Así se puede observar en la Tabla 14 y Figura 7.

**Tabla 14.** Resultados de la capacidad de floculación de la pectina de naranja reticulada.

Pectina de Naranja (g/v)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)
2	13,6	3,41	74,93
6		3,35	75,37
10		3,04	77,65
20		2,96	78,24
30		2,78	79,56
40		2,45	81,99
50		2,58	81,03
60		3,16	76,76
70		3,41	74,93
80		3,55	73,90
90		4,06	70,15
100		4,11	69,78
102		4,01	70,51
104		4,13	69,63
106		4,29	68,46
108		4,34	68,09
110		4,37	67,87

Fuente: Laura Virginia (2018)

**Figura 7.** Turbidez vs Pectina de naranja reticulada.

Fuente: Laura Virginia (2018)

El punto más bajo de la Figura 7 representa el mejor resultado, que se dio al adicionar 40 g/v de pectina de naranja, obteniendo una turbidez final de 2,45 NTU y un porcentaje de remoción de 81,99%. No obstante, todos los resultados son favorables, con un rango de remoción del 67,87 % al 81,99%.

De la misma forma se evidenció el potencial que tiene la pectina reticulada a base de cáscara de naranja para disminuir las concentraciones de metales pesados como el arsénico y el cromo en el agua. Por el contrario, los resultados fueron desfavorables para la remoción de Plomo.

**Tabla 15.** Resultados de la capacidad de remoción de metales pesados de la cáscara de naranja reticulada.

<b>Metales pesados</b>	<b>Antes del tratamiento (mg/L)</b>	<b>Después del tratamiento (mg/L)</b>	<b>Porcentaje de remoción (%)</b>
Arsénico	0,02903	0,01651	43,13
Cromo	0,0017	0,0014	17,65
Plomo	0,00082	0,0021	> Concentración

**Fuente:** Laura Virginia (2018)

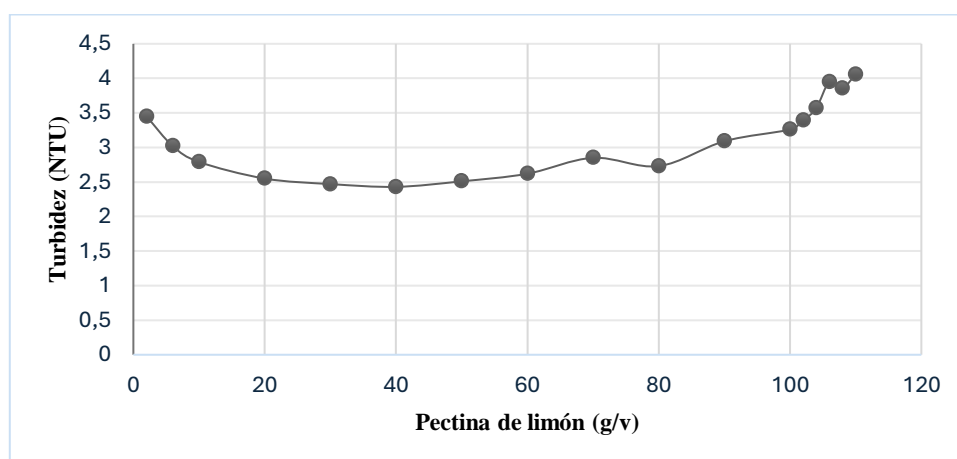
De igual forma, las muestras agua se sometieron al tratamiento con la pectina de limón reticulada como floculante, para determinar la capacidad de este para disminuir la turbidez. Así, con distintas dosis, a un pH 3 constante, 15 minutos de floculación y 500 mL de muestra se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 16.** Resultados de la capacidad de floculación de la pectina de limón reticulada.

<b>Pectina de Limón (g/v)</b>	<b>Turbidez inicial (NTU)</b>	<b>Turbidez Final (NTU)</b>	<b>Porcentaje de remoción (%)</b>
2	13,6	3,45	74,63
6		3,02	77,79
10		2,79	79,49
20		2,55	81,25
30		2,47	81,84
40		2,43	82,13
50		2,51	81,54
60		2,62	80,71
70		2,85	79,04
80		2,73	79,93
90		3,09	77,28
100		3,26	76,03
102		3,39	75,07
104		3,57	73,75
106		3,95	70,96

108		3,86	71,62
110		4,06	70,15

Fuente: Laura Virginia (2018)



**Figura 8** Turbidez vs Pectina de limón reticulada.

Fuente: Laura Virginia (2018)

En la Figura 8 se observa que el punto más bajo de la curva es aquel que representa el resultado más prometedor. Este se obtuvo al adicionar 40 g/v de pectina de limón reticulada a los 500 mL de la muestra de agua, dando como resultado una turbidez final de 2,43 NTU y un porcentaje de remoción de 82,13%. Como en el caso anterior, todos los resultados fueron favorables, con un rango de remoción de 70,15% a 82,13%.

Al analizar la capacidad de remoción de metales pesados de la pectina de limón reticulada, se obtuvo los resultados presentes en la Tabla 17. La dosis añadida es la de mejor resultado de la Tabla 16, es decir 40 g/v.

**Tabla 17** Resultados de la capacidad de remoción de metales pesados de la pectina de limón reticulada.

Metales pesados	Antes del tratamiento (mg/L)	Después del tratamiento (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
Arsénico	0,02903	0,01716	40,89
Cromo	0,0017	0,0015	11,76
Plomo	0,00082	0,00278	> Concentración

Fuente: Laura Virginia (2018)

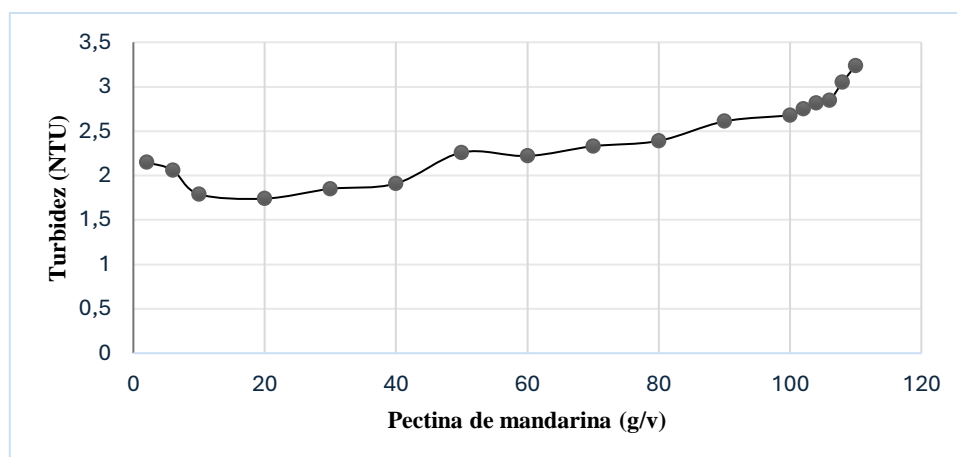
Los resultados fueron satisfactorios con relación al arsénico y cromo, mientras que no se presentaron resultados favorables para la remoción de plomo en las muestras de agua.

Se hicieron pruebas para determinar la capacidad de floculación de la pectina de mandarina reticulada. Para esto se mantuvo un pH de 3 constante, con un volumen de muestra de agua de río de 500 mL y un tiempo de floculación de 15 minutos. Los resultados se ilustran en la Tabla 18 y en la Figura 9.

**Tabla 18** Resultados de la capacidad de floculación de la pectina de mandarina reticulada.

<b>Pectina de Mandarina (g/v)</b>	<b>Turbidez inicial (NTU)</b>	<b>Turbidez Final (NTU)</b>	<b>Porcentaje de remoción (%)</b>
2	13,6	2,15	74,93
6		2,06	75,37
10		1,79	77,65
20		1,74	78,24
30		1,85	79,56
40		1,91	81,99
50		2,26	81,03
60		2,22	76,76
70		2,33	74,93
80		2,39	73,90
90		2,61	70,15
100		2,68	69,78
102		2,75	70,51
104		2,82	69,63
106		2,85	68,46
108		3,05	68,09
110	3,24	67,87	

**Fuente:** Laura Virginia (2018)



**Figura 9.** Turbidez vs pectina de mandarina reticulada.

**Fuente:** Laura Virginia (2018)

El mejor resultado fue al adicionar 40 g/v, con una turbidez final de 1,91 NTU y porcentaje de remoción de 81,99%. El punto más bajo de la Figura 9 representa este resultado. A pesar de esto, todos los resultados de la Tabla 18 fueron favorables con un rango de remoción de 67,87% a 81,99%.

Así mismo, al analizar la capacidad de remoción de metales pesados de la pectina de mandarina reticulada, adicionando 40 g/v de floculante, se lograron los resultados siguientes.

**Tabla 19.** Resultados de la capacidad de remoción de metales pesados de la pectina de mandarina reticulada.

Metales pesados	Antes del tratamiento (mg/L)	Después del tratamiento (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
Arsénico	0,02903	0,01636	43,64
Cromo	0,0017	0,0025	> Concentración
Plomo	0,00082	0,00023	71,95

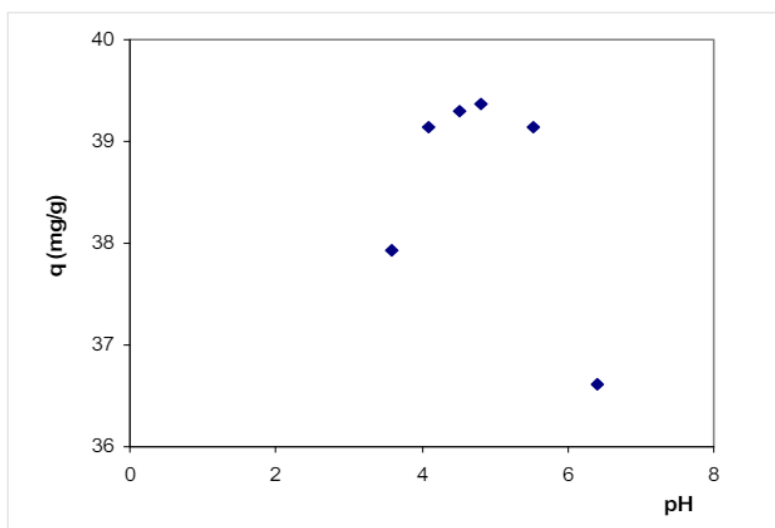
**Fuente:** Laura Virginia (2018)

A diferencia de la pectina de naranja y limón, la pectina reticulada de la cáscara de mandarina presento resultados positivos para la remoción de plomo y arsénico, por el contrario, los resultados de la remoción de cromo no fueron los deseados.

Como demuestran los resultados, la pectina cítrica reticulada es capaz de reducir la turbidez y concentraciones de arsénico, cromo y plomo que se encuentran presentes en el río Chili.

**(Juan Carlos Muñoz, 2007)**

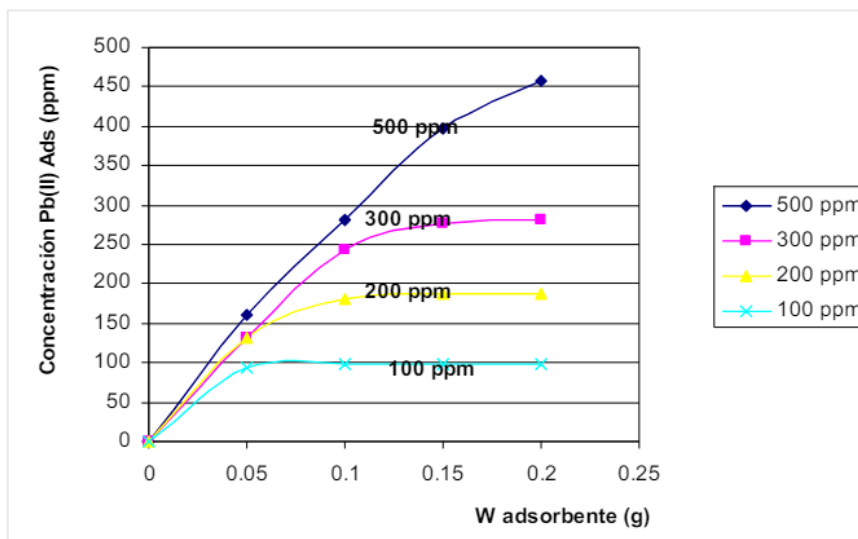
Con 0,5 g de pectina de naranja reticulada en 50 mL de una solución 400 mg/L de Pb (II) se analizó la influencia del pH en el proceso de floculación. En un pH menor a 4 y mayor a 6 la actividad del floculante es mínima, mientras que dentro de los límites su actividad aumenta a su máximo en pH 4,82.



**Figura 10.** Efecto del pH en la adsorción de Pb (II). Pectina de cáscara de naranja reticulada.

**Fuente:** Juan Carlos Muñoz (2007).

Con el pH ideal, se analizó el comportamiento del floculante en función a distintas concentraciones de Pb (II). La relación de concentración de Pb (II) es proporcional a la capacidad de remoción del floculante, a mayor concentración, mayor remoción.



**Figura 11.** Dosis de pectina de naranja reticulada vs Concentración de Pb (II).

**Fuente:** Juan Carlos Muñoz (2007).

Con los resultados se demuestra que la pectina de naranja reticulada es eficiente para la remoción de Pb (II) en un pH 5, como también que la floculación se relaciona directamente con el pH de la solución.

**(Ronaldo Casas, 2023).**

Con una muestra de 1000 mL de agua sintética y de concentraciones de 0,25 mg/L, de 0,5 mg/L y de 1,00 mg/L de Pb, pH inicial 7,1, 15 minutos de agitación y 30 minutos de sedimentación se presentan los siguientes resultados. Todos los ensayos se hicieron por triplicado.

**Tabla 20.** Resultado del ensayo 1 de la capacidad de remoción de plomo de la pectina de naranja reticulada.

Dosis (g)	Conc. final de Pb (mg/L)	Duplicado (mg/L)	Triplicado (mg/L)	Promedio (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH final
0,5	0,098	0,097	0,098	0,098	60,93	7
1,0	0,078	0,078	0,077	0,078	68,93	6,8
1,5	0,081	0,081	0,080	0,081	67,73	6,5
2,0	0,085	0,085	0,084	0,085	66,13	6,3
2,5	0,069	0,068	0,069	0,069	72,53	6

Fuente: Ronaldo Casas (2023).

Con una concentración inicial de 0,25 mg/L de Pb, el mejor resultado se da al añadir la mayor dosis de floculante, 2,5 g, con un porcentaje de remoción del 72,53%. De todas maneras, todos los resultados son satisfactorios.

**Tabla 21.** Resultado del ensayo 2 de la capacidad de remoción de plomo de la pectina de naranja reticulada

Dosis (g)	Conc. final de Pb (mg/L)	Duplicado (mg/L)	Triplicado (mg/L)	Promedio (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH final
0,5	0,165	0,165	0,165	0,165	67,00	6,9
1,0	0,142	0,141	0,141	0,141	71,73	6,7
1,5	0,149	0,149	0,149	0,149	70,20	6,5
2,0	0,136	0,135	0,137	0,136	72,80	6,3
2,5	0,117	0,116	0,118	0,117	76,60	6,1

Fuente: Ronaldo Casas (2023).

El mayor porcentaje de remoción presentado es de 76,60% con una dosis de 2,5 g teniendo una concentración inicial de 0,5 mg/L de Pb. Este resultado, al igual que los demás de la Tabla 21 son exitosos,

**Tabla 22** Resultado del ensayo 3 de la capacidad de remoción de plomo de la pectina de naranja reticulada.

Dosis (g)	Conc. final de Pb (mg/L)	Duplicado (mg/L)	Triplicado (mg/L)	Promedio (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH final
-----------	--------------------------	------------------	-------------------	-----------------	----------------------------	----------

0,5	0,338	0,338	0,339	0,338	66,17	6,9
1,0	0,300	0,301	0,000	0,200	79,97	6,6
1,5	0,267	0,266	0,267	0,267	73,33	6,5
2,0	0,256	0,254	0,256	0,255	74,47	6,3
2,5	0,196	0,196	0,196	0,196	80,40	6,1

Fuente: Ronaldo Casas (2023).

Con la concentración más alta de los ensayos, 1 mg/L de Pb, el mayor porcentaje de remoción fue de 80,40 %, con una dosis de 2,5 g, siendo la mayor de los tres ensayos realizados.

Así como se analizó la capacidad de remoción con relación al Pb (II), también se hicieron ensayos para Cd. Con distintas dosis de floculante orgánico, en soluciones de 0,25 mg/L, 0,5 mg/L y 1 mg/L se determinó el porcentaje de remoción en un tiempo de agitación de 15 minutos y 30 minutos de sedimentación, pH inicial 7 y 1000 mL de muestra, presentando los siguientes resultados.

**Tabla 23.** Resultado del ensayo 1 de la capacidad de remoción de cadmio de la pectina de naranja reticulada.

Dosis (g)	Conc. final de Cd (mg/L)	Duplicado (mg/L)	Triplicado (mg/L)	Promedio (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH final
0,5	0,129	0,130	0,130	0,130	48,13	6,9
1,0	0,017	0,018	0,019	0,018	92,80	6,6
1,5	0,018	0,017	0,017	0,017	93,07	6,4
2,0	0,018	0,017	0,018	0,018	92,93	6,3
2,5	0,016	0,016	0,016	0,016	93,60	6

Fuente: Ronaldo Casas (2023).

Con una concentración inicial de 0,25 mg/L de Cd, agregando una dosis de 2,5 g a la muestra de agua se obtiene el mejor porcentaje de remoción de 93,60 %.

**Tabla 24.** Resultado del ensayo 2 de la capacidad de remoción de cadmio de la pectina de naranja reticulada

Dosis (g)	Conc. final de Cd (mg/L)	Duplicado (mg/L)	Triplicado (mg/L)	Promedio (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH final
0,5	0,334	0,334	0,334	0,334	33,20	6,9
1,0	0,236	0,236	0,236	0,236	52,80	6,8
1,5	0,233	0,233	0,233	0,233	53,40	6,6
2,0	0,198	0,198	0,199	0,198	60,33	6,4
2,5	0,196	0,196	0,196	0,196	60,80	6,2

Fuente: Ronaldo Casas (2023).

El mejor resultado, teniendo una concentración inicial de 0,5 mg/L de Cd, es de 60,80 % de remoción con 2,5 g de floculante orgánico.

**Tabla 25.** Resultado del ensayo 3 de la capacidad de remoción de cadmio de la pectina de naranja reticulada.

Dosis (g)	Conc. final de Cd (mg/L)	Duplicado (mg/L)	Triplicado (mg/L)	Promedio (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)	pH final
0,5	0,615	0,615	0,615	0,615	38,50	6,9
1,0	0,487	0,488	0,489	0,488	51,20	6,7
1,5	0,424	0,426	0,424	0,425	57,53	6,5
2,0	0,217	0,218	0,217	0,217	78,27	6,2
2,5	0,175	0,176	0,176	0,176	82,43	6,1

Fuente: Ronaldo Casas (2023).

El mayor porcentaje de remoción es de 82,43 % al agregar 2,5 g a una solución de concentración de 1 mg/L.

Todos los ensayos dieron resultados positivos ante la actividad de remoción del floculante a base de cáscara de naranja, demostrando que son eficientes para el tratamiento de aguas que contengan metales pesados como Pb (II) y Cd.

(Laura Arias, 2019).

Los ensayos se realizaron con floculantes de dos cáscaras de naranja de diferente tipo, donde las condiciones fueron cambios de pH, tiempo de floculación y tamaño de partícula. Cada ensayo fue con un floculante distinto para evaluar si hay diferencia con el tipo de naranja.

**Tabla 26.** Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (JUGO) reticulada a distintos niveles de pH.

pH	Conc. Inicial Cu (II) mg/L	Conc. Final Cu (II) mg/L	Porcentaje de remoción (%)
2	30	19,456	35,147
3	40	25,941	35,148
4	50	32,177	35,646
5	60	43,152	28,080

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

**Tabla 27.** Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (HUANDO) reticulada a distintos niveles de pH.

pH	Conc. Inicial Cu (II) mmol/L	Conc. Final Cu (II) mg/L	Porcentaje de remoción (%)
2	30	22,698	24,340
3	40	29,708	25,730
4	50	37,415	25,170
5	60	47,642	20,597

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

En el caso de la cáscara de naranja JUGO se observa que el mejor nivel de pH es de 4, con un porcentaje de remoción de 35,64%, mientras que para la cáscara de naranja HUANDO el mejor pH es de 3, con un porcentaje de remoción de 25,17%. De estos resultados, el mejor floculante es la pectina de naranja JUGO reticulada.

**Tabla 28.** Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (JUGO) reticulada a distintos tiempos de floculación,

Tiempo (minutos)	Conc. Inicial Cu (II) mmol/L	Conc. Final Cu (II) mg/L	Porcentaje de remoción (%)
30	30	22,449	25,170
60	40	29,932	25,170
90	50	39,910	20,180
120	60	47,393	21,012

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

**Tabla 29.** Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (HUANDO) reticulada a distintos tiempos de floculación.

Tiempo (minutos)	Conc. Inicial Cu (II) mmol/L	Conc. Final Cu (II) mg/L	Porcentaje de remoción (%)
30	30	12,472	58,427
60	40	17,461	56,348
90	50	22,449	55,101
120	60	29,933	50,112

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

El tiempo óptimo para la remoción de Cu (II) con el floculante de cáscara de naranja Jugo es de 30 a 60 minutos, con valores de 25,17% de remoción. Para el floculante de cáscara de naranja HUANDO el mayor porcentaje de remoción es de 58,42% con un tiempo de floculación de 30 minutos. En este caso, el floculante con mejor respuesta es la pectina de cáscara de naranja HUANDO.

**Tabla 30.** Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (JUGO) reticulada a distintos tamaños de partícula.

Tamaño (µm)	Conc. Inicial Cu (II) mmol/L	Conc. Final Cu (II) mg/L	Porcentaje de remoción (%)
210	30	27,438	8,539
297	40	34,921	12,697
595	50	45,148	9,703
640	60	55,201	7,999

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

**Tabla 31.** Resultados de la capacidad de remoción de Cu (II) de la pectina de naranja (HUANDO) reticulada a distintos tamaños de partícula.

Tamaño (µm)	Conc. Inicial Cu (II) mmol/L	Conc. Final Cu (II) mg/L	Porcentaje de remoción (%)
210	30	22,449	25,169
297	40	29,933	25,169
595	50	40,160	19,681
640	60	50,137	16,438

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

El floculante a base de cáscara de naranja JUGO alcanzó un porcentaje de remoción máximo de 12,69 % con un tamaño de partícula de 297 µm, mientras que el límite máximo de remoción del floculante a base de cáscara de naranja HUANDO fue de 25,16% con un tamaño de partícula de 210 µm hasta 297 µm. El floculante que ofreció mejores resultados fue la pectina de cáscara de naranja HUANDO reticulada.

La pectina de naranja JUGO reticulada presentó mejores resultados en las pruebas de pH, mientras que en las pruebas de tiempo de floculación y tamaño de partícula la pectina de naranja HUANDO obtuvo resultados superiores.

(Melizza Aguilar, 2018).

Para determinar las condiciones óptimas para el tratamiento con el floculante orgánico se realizaron ensayos cambiando variables como el pH, la dosis de floculante y el porcentaje de mezcla de la pectina de naranja con la pectina de plátano. Estos ensayos se hicieron por duplicado.

**Tabla 32.** Resultados de la capacidad de remoción de Cr<sup>6+</sup> a pH 3 con distintas dosis de pectina de cáscara de naranja y plátano.

pH	N° muestra	Dosis (g)	Mezcla de floculante %plátano-%naranja	Conc. Final Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
3	1	10	75-25	2,0	96,19
	2		50-50	3,7	92,95

	3	20	25-75	4,8	90,85
	4		75-25	2,9	94,47
	5		50-50	3,9	92,57
	6	30	25-75	2,2	95,81
	7		75-25	2,5	95,23
	8		50-50	4,4	91,61
	9		25-75	3,8	92,76

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

**Tabla 33.** Resultados de la capacidad de remoción de Cr<sup>6+</sup> a pH 3 con distintas dosis de pectina de cáscara de naranja y plátano. Duplicado.

pH	N° muestra	Dosis (g)	Mezcla de floculante %plátano-%naranja	Conc. Final Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
3	1	10	75-25	2,8	94,66
	2		50-50	2,9	94,47
	3		25-75	5,1	90,28
	4	20	75-25	3,0	94,28
	5		50-50	4,5	91,42
	6		25-75	2,5	95,23
	7	30	75-25	1,8	96,57
	8		50-50	3,9	92,57
	9		25-75	4,7	91,04

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

En el primer ensayo a pH 3, el mejor resultado fue con una dosis de 10 g del floculante 75% naranja -25% plátano con una remoción de 96,19% de Cr<sup>6+</sup>. En el duplicado el mejor resultado fue con una dosis de 30 g del floculante 75% naranja – 25% plátano con un porcentaje de remoción de 96,57% de Cr<sup>6+</sup>. Todos los resultados tienen una capacidad de remoción mayor al 90%.

**Tabla 34** .Resultados de la capacidad de remoción de Cr<sup>6+</sup> a pH4 con distintas dosis de pectina de cáscara de naranja y plátano.

pH	N° muestra	Dosis (g)	Mezcla de floculante %plátano-%naranja	Conc. Final Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
4	10	10	75-25	3,5	93,33
	11		50-50	7,5	85,70
	12		25-75	9,0	82,84
	13	20	75-25	1,7	96,76

	14		50-50	3,2	93,90
	15		25-75	2,7	94,85
	16	30	75-25	2,4	95,43
	17		50-50	4,3	91,80
	18		25-75	2,0	96,19

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

**Tabla 35.** Resultados de la capacidad de remoción de Cr<sup>6+</sup> a pH 4 con distintas dosis de pectina de cáscara de naranja y plátano. Duplicado

pH	N° muestra	Dosis (g)	Mezcla de floculante %plátano-%naranja	Conc. Final Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
4	10	10	75-25	4,7	91,04
	11		50-50	2,5	95,23
	12		25-75	12,5	76,17
	13	20	75-25	2,3	95,62
	14		50-50	3,7	92,95
	15		25-75	2,6	95,04
	16	30	75-25	2,8	94,66
	17		50-50	3,8	92,76
	18		25-75	1,9	96,38

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

En el primero ensayo, con pH 4, el mejor resultado en el de la muestra número 13, con 20 g de floculante de relación 75% naranja – 25% plátano presentando una remoción del 96,76%. En el ensayo duplicado el resultado es el mismo, pero con un porcentaje de remoción del 95,62%. Todos los resultados tienen demuestran que el floculante tiene una capacidad de remoción de 76,17% a 96,76%.

**Tabla 36.** Resultados de la capacidad de remoción de Cr<sup>6+</sup> a pH 5 con distintas dosis de pectina de cáscara de naranja y plátano.

pH	N° muestra	Dosis (g)	Mezcla de floculante %plátano-%naranja	Conc. Final Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
5	19	10	75-25	2,9	94,47
	20		50-50	2,4	95,43
	21		25-75	1,4	97,33
	22	20	75-25	3,9	92,57
	23		50-50	1,4	97,33
	24		25-75	2,8	94,66

	25	30	75-25	1,8	96,57
	26		50-50	2,4	95,43
	27		25-75	1,7	96,76

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

**Tabla 37.** Resultados de la capacidad de remoción de Cr<sup>6+</sup> a pH 5 con distintas dosis de pectina de cáscara de naranja y plátano. Duplicado

pH	N° muestra	Dosis (g)	Mezcla de floculante %plátano-%naranja	Conc. Final Cr <sup>6+</sup> (mg/L)	Porcentaje de remoción (%)
5	19	10	75-25	2,1	96,00
	20		50-50	2,2	95,81
	21		25-75	1,0	98,09
	22	20	75-26	2,1	96,00
	23		50-51	1,5	97,14
	24		25-76	2,7	94,85
	25	30	75-27	2,5	95,23
	26		50-52	1,7	96,76
	27		25-77	1,5	97,14

Fuente: Melizza Aguilar (2018).

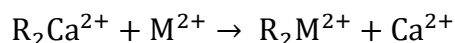
Al realizar las pruebas con un pH 5, en el primer ensayo la muestra 21 y 23 presentaron un nivel máximo de remoción con un 97,33% con 10g y 20 g de floculante en una relación 25% naranja – 75% plátano y 50% naranja – 50% plátano respectivamente. Por otro lado, en el duplicado, la muestra que presentó un mejor resultado, con un 98,09 % de remoción de Cr<sup>6+</sup>, fue la número 21 con 10 g de floculante y una relación 25% naranja – 75% plátano.

Todos los resultados son favorables, desmostando que la capacidad de remoción de este floculante va desde 76,17% a 98,09% de remoción de Cr<sup>6+</sup>. En este caso el pH no causa cambios violentos en el tratamiento.

## 7. DISCUSIONES

La pectina, al ser un biopolímero, se puede clasificar como un floculante aniónico ya que presenta una carga superficial negativa gracias a los grupos carboxilo que se encuentran ramificados en su cadena. Esto le brinda la capacidad de remover metales pesados. El grupo carboxilato ( $-\text{COO}^-$ ) puede atraer cationes metálicos, como  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  y As, capturándolos y formando complejos de coordinación (García Villegas et al., 2011). Esta propiedad es la que permite la remoción de metales pesados en las muestras de aguas residuales.

La pectina pasa por un proceso de reticulación con  $\text{Ca}^{2+}$  para que este actúe como sitio activo en el biopolímero. Los metales pesados se intercambian con el calcio presente, desplazándolo de la cadena y finalmente formando los complejos de coordinación (Sánchez Sánchez et al., 2014). La pectina reticulada con calcio ayuda a eliminar metales con la misma carga iónica como  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , así se muestra a continuación, donde  $\text{R}_2$  es la cadena poligalacturónica y  $\text{M}^{+2}$  es el metal.



La presencia de distintos metales en la solución puede afectar el proceso del floculante. La afinidad de ciertos metales al biofloculante tiene que ver con sus iones y carga eléctrica superficial, aun así, la superficie de la pectina es heterogénea e irregular, por lo que no es posible determinar con certeza el por qué algunos metales pueden ser capturados más que otros (Low et al., 2000).

Los sitios activos en la cadena polimérica se pueden ver afectados cambios de pH, los grupos carboxilo son de carácter ácido, por lo que puede liberar protones en medio básico y alterar su carga superficial. El pH óptimo encontrado gracias a la experimentación fue de 4. El pH ácido permite que los metales estén libres y disponibles para la formación de complejos con el biopolímero, con un pH básico se puede tener más biodisponibilidad de

los grupos activos de la pectina, pero los metales no se encontrarían libres en la solución, por lo que no sería efectivo el floculante (Yokoi, 2002).

El tamaño de partícula es un factor importante en la floculación, ya que un menor tamaño de partícula brinda mayor superficie de contacto teniendo más biodisponibilidad de los sitios activos para formar complejos. Así también el tamaño de partícula es proporcional a tiempo de floculación, es decir, a menor tamaño de partícula, menor será el tiempo de floculación gracias disponibilidad de grupos activos en el biopolímero (Cardonaz et al., 2013).

También es preciso mencionar que las partículas de floculante se pueden llegar a saturar, por lo que con tiempos mayores a una hora la efectividad del biopolímero se reduce de manera considerable, ya que libera los complejos adsorbidos, dejándolos nuevamente a la solución (Cardonaz et al., 2013). Esto se expone de manera clara en las Tablas 28 y 29.

El tiempo de floculación o de equilibrio es aquel donde el floculante llega a su capacidad máxima de adsorción y las concentraciones del metal se mantienen constantes. Muchos de los estudios demuestran un tiempo óptimo en 30 minutos a 1 hora de contacto del floculante en la solución brinda buenos resultados, hasta un 98 % de remoción (Oré Cierro et al., 2024).

## 8. CONCLUSIÓN

La pectina presente en las cáscaras de cítricos y cacao tiene actividad floculante, esto debido a los grupos carboxilo presente en la cadena poligalacturónica, ya que al ionizarse en condiciones adecuadas se transforman en grupos carboxilatos que brindan una carga superficial negativa al biopolímero, ofreciendo propiedades para formar complejos y precipitarlos.

La pectina es capaz de remover metales pesados en las muestras de agua porque los grupos carboxilato forman complejos con los iones metálicos, atrapándolos en su cadena. A la pectina se la puede someter a un proceso de reticulación con  $\text{Ca}^{2+}$  para la remoción de metales pesados con la misma carga iónica.

Variables como el pH, tiempo, tamaño de partícula afectan al proceso de floculación. Con pH menores a 4 y mayores a 5 disminuyen el trabajo de la pectina, por otro lado, el tamaño de partícula de igual manera es importante, prefiriendo un menor tamaño de partícula para tener mayor superficie de contacto. El tiempo es otro factor que considerar, el floculante disminuye su eficiencia con tiempos de contacto mayores a una hora, reduciendo el porcentaje de remoción.

La pectina es capaz de disminuir concentraciones de metales pesados y turbidez en muestras de agua. El biopolímero logró una remoción máxima de turbidez de 99,4 % con cáscara de cacao y 82,13 % con cáscara de cítricos.,  $\text{Pb}^{2+}$  76,60%,  $\text{Cd}^{2+}$  93,60%, As 43,64%,  $\text{Cr}^{6+}$  98,09% y  $\text{Cu}^{2+}$  58,42%.

Las condiciones óptimas para el uso de la pectina como floculante son: pH 4, 60 minutos de floculación y un tamaño de partícula de 210  $\mu\text{m}$ .

## REFERENCIAS

- Achak, M., Elayadi, F., & Boumya, W. (2019). Chemical coagulation/flocculation processes for removal of phenolic compounds from Olive mill wastewater: A comprehensive review. *American journal of applied sciences*, *16*(3), 59–91. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2019.59.91>
- Aguilar, M., & Flores, C. (2018). *EVALUACIÓN DE LA CÁSCARA DE NARANJA (citrus cinensis) COMO MATERIAL ADSORBENTE NATURAL DE ION METÁLICO Cu(II)*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Arias, L. (2019). *EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE Cr (VI) EN SOLUCIÓN CON UNA MEZCLA DE CÁSCARA DE NARANJA Y CÁSCARA DE BANANO COMO BIOADSORBENTE*. Universidad de la Salle.
- Avalos Jaime, M. D. (2023). *Eficiencia de la cáscara de naranja "citrus sinensis" frente al sulfato de aluminio para la remoción de la materia orgánica en aguas residuales domésticas de la Ptar Taboada, Callao*. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Cardonaz, A., Cabañas, D., & Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, *1*(1), 1–9. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718001.pdf>
- Casas Champi, R. J. (2023). *EVALUACIÓN DE LA CÁSCARA DE NARANJA CITRUS X SINENSIS COMO BIOSORBENTE PARA LA REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN MUESTRAS SINTÉTICAS A NIVEL DE LABORATORIO*. Universidad Nacional Federico Villareal.
- Chávez Altamirano, C. E., López Calvopiña, F. G., Palate Chicaiza, X. M., & Jacome Pilco, C. R. (2021). Potencialidad de Biocombustibles a partir de Residuos Orgánicos. *Revista Científica*, *6*(21), 40–57. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2021.6.21.2.40-57>
- Dubey, P., Tripathi, G., Mir, S. S., & Yousuf, O. (2023). Current scenario and global perspectives of citrus fruit waste as a valuable resource for the development of

food packaging film. *Trends in Food Science & Technology*, 141(104190), 104190. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104190>

- Flores Zapata, L. S. (2020). *Pectina de cáscara de cacao y sulfato de aluminio para reducción de la turbidez en aguas contaminadas del río Chillón*. Universidad Cesar Vallejo.
- García Villegas, V. R., Yipmantin Ojeda, A. G., Guzmán Lezama, E. G., Pumachagua Huertas, R., & Maldonado García, H. J. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 173–181. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2011000300002](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000300002)
- García-García, P. M., Galindo-Alcántara, A., & Ruiz-Acosta, S. del C. (2023). Métodos de extracción de pectina en frutos: Revisión sistemática. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(NEIII). <https://doi.org/10.19136/era.a10neiii.3728>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). *AGUA POTABLE REQUISITOS*. NTE INEN 1108.
- Low, K. S., Lee, C. K., & Liew, S. C. (2000). Sorption of cadmium and lead from aqueous solutions by spent grain. *Process Biochemistry (Barking, London, England)*, 36(1–2), 59–64. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(00\)00177-1](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(00)00177-1)
- Muñoz Carpio, J. C. (2007). *Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja "citrus cinensis" pretratada*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- OMS. (2016). *PLANIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DEL SANEAMIENTO (MANUAL PARA EL USO Y LA DISPOSICIÓN SEGUROS DE AGUAS RESIDUALES, AGUAS GRISES Y EXCRETAS)*. Who.int. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/250331/9789243549248-spa.pdf?sequence=1>
- Oré Cierito, L. E., Evangelista Medina, E. M., Arostegui Poma, J. M., Loarte Aliaga, W. C., Oré Cierito, J. D., & Quispe Trinidad, M. Á. (2024). Effect of coagulants and

floculants in the removal of turbidity from polluted river waters. *Agroindustrial science*, 13(3), 127–134. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.03.02>

Ortega Ramírez, A. T., & Sánchez Rodríguez, N. (2021). *Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales*. SciELO.  
<https://doi.org/10.18359/rcin.5343>

Pérez de la Cruz, F., & Urrea, M. (2019). *Coagulación y Floculación*.  
[https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)

Ramírez-Sánchez, I. M., Doll, S., & Bandala, E. R. (2015). Drinking water and sanitation in central America: Challenges, perspectives, and alternative water treatment. En *ACS Symposium Series* (pp. 53–70). American Chemical Society.

Sánchez Sánchez, D., García Villegas, V., Yipmantin Ojeda, A., Guzmán Lezama, E., Ale Borja, N., & Maldonado García, H. (2014). Estudio de la cinética de biosorción de iones cadmio (II) en pectina reticulada proveniente de cáscaras de naranja. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 298–307.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2014000400009](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000400009)

Ticona, V. (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*.  
Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

Tie, J., Jiang, M., Li, H., Zhang, S., & Zhang, X. (2015). A comparison between Moringa oleifera seed presscake extract and polyaluminum chloride in the removal of direct black 19 from synthetic wastewater. *Industrial Crops and Products*, 74, 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.004>

TULSMA. (2015). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA*.

- Vicepresidencia del Ecuador. (2015). *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador*. Gob.ec. <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>
- Villaseñor-Basulto, D. L., Astudillo-Sánchez, P. D., del Real-Olvera, J., & Bandala, E. R. (2018). Wastewater treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23, 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.017>
- Yokoi, H. (2002). Flocculation properties of pectin in various suspensions. *Bioresource technology*, 84(3), 287–290. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00023-8](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00023-8)