

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“EFICIENCIA DEL QUITOSANO EXTRAÍDO DEL CHORO  
(*aulacomya atra molina*) COMO COAGULANTE NATURAL PARA LA  
REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA PROVENIENTE DEL RÍO  
CHILLÓN”**

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

**AUTORES**

CINTHYA VERONICA, CCONCHOY MOSQUEIRA

LUIS FELIPE, CIEZA CARLOS

SINDY AMBAR, MILLA HILARES

**ASESOR**

Ing. Mg. FABIO MANUEL RANGEL MORALES

**LINEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**CALLAO, 2023**

**PERÚ**



## **INFORMACIÓN BÁSICA**

**FACULTAD:** Ingeniería Química

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:** Facultad de Ingeniería Química

**TÍTULO:** “Eficiencia del quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón”

### **AUTORES /CÓDIGO ORCID/DNI**

Cintha Veronica Cconchoy Mosqueira / 0000-0002-4416-3915 / 42705461

Luis Felipe Cieza Carlos / 0000-0003-0847-7818 / 48162670

Sindy Ambar, Milla Hilaes / 0000-0002-3304-0207 / 74503369

### **ASESOR /CÓDIGO ORCID/DNI**

Ing. Mg. Fabio Manuel Rangel Morales / 0000-0002-4967-1847 / 25618170

### **LUGAR DE EJECUCIÓN**

Laboratorio de Ingeniería Química

### **UNIDAD DE ANÁLISIS:**

Muestra de agua tomada del río Chillón

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN:**

Experimental/Cuantitativa/Aplicativa

### **TEMA OCDE:**

2.4.2 Ingeniería de Proceso



## **DEDICATORIA**

A nuestros padres y hermanos,  
por su amor, apoyo constante e  
incondicional, por sus consejos y  
todo lo que somos gracias a ellos.

## **AGRADECIMIENTO**

Damos gracias a Dios por permitirnos tener tan buenas experiencias dentro de nuestra universidad, gracias a nuestra universidad por permitirnos convertirnos en profesionales en lo que tanto nos apasiona. Gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, que deja como producto terminado este grupo de graduados. y como recuerdo y prueba viviente esta tesis, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | 4  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | 5  |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....  | 6  |
| RESUMEN .....   | 7  |
| ABSTRACT .....  | 8  |
| INTRODUCCIÓN .....  | 9  |
| I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                       | 10 |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática .....                        | 10 |
| 1.2. Formulación del problema (problema general y específicos) .....      | 11 |
| 1.2.1. Problema general .....   | 11 |
| 1.2.2. Problemas específicos.....   | 11 |
| 1.3. Objetivos (general y específicos).....                               | 11 |
| 1.3.1. Objetivo general.....  | 11 |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....   | 11 |
| 1.4. Justificación .....  | 11 |
| 1.5. Delimitantes de la investigación (teórico, temporal, espacial) ..... | 12 |
| 1.5.1. Teórica.....   | 12 |
| 1.5.2. Espacial .....   | 12 |
| 1.5.3. Temporal .....   | 12 |
| II. MARCO TEÓRICO.....  | 13 |
| 2.1. Antecedentes: Internacionales y nacionales.....                      | 13 |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....                                  | 13 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales.....                                       | 14 |
| 2.2. Bases teóricas .....   | 16 |
| 2.2.1. Choro (Aulacomya atra molina) .....                                | 16 |
| 2.2.2. Características fisicoquímicas del agua de río .....               | 16 |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.3. Turbidez.....  | 17 |
| 2.2.4. Métodos para la reducción de turbidez en las aguas.....                    | 17 |
| 2.2.5. Coagulación-floculación.....   | 20 |
| 2.2.6. Fundamento de la coagulación (Potencial Z) .....                           | 21 |
| 2.2.7. Coagulación.....   | 23 |
| 2.2.8 Prueba de jarras .....  | 25 |
| 2.2.9 Quitosano .....   | 25 |
| 2.2.10 Proceso de obtención del quitosano.....                                    | 27 |
| 2.3. Marco conceptual .....   | 29 |
| 2.3 Definición de términos básicos .....  | 31 |
| III. HIPÓTESIS Y VARIABLES .....  | 33 |
| 3.1. Hipótesis (general y específicas).....                                       | 33 |
| 3.1.1 Hipótesis general .....   | 33 |
| 3.1.2 Hipótesis específicas .....   | 33 |
| 3.2. Operacionalización de variable.....  | 33 |
| IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....   | 35 |
| 4.1. Diseño metodológico .....  | 35 |
| 4.2. Método de investigación .....  | 36 |
| 4.3. Población y muestra .....  | 39 |
| 4.3.1. Población.....   | 39 |
| 4.3.2. Muestra.....   | 40 |
| 4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado.....                                 | 40 |
| 4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....           | 40 |
| 4.6. Análisis y procesamiento de datos .....                                      | 41 |
| 4.7. Aspectos Éticos en Investigación .....                                       | 41 |
| V. RESULTADOS .....   | 42 |
| 5.1. Resultados descriptivos.....   | 42 |
| 5.1.1. Resultados de las características Físicoquímicas del agua río Chillón..... | 42 |

|  |    |
|--|----|
| 5.1.2. Resultados experimentales del tratamiento en el Jar Test .....    | 43 |
| 5.2. Resultados inferenciales.....                                       | 45 |
| 5.2.1. % Remoción de la turbidez.....                                    | 45 |
| 5.2.2. % Remoción de SST .....   | 49 |
| VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....  | 52 |
| 6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados..... | 52 |
| 6.1.1. Contratación con la hipótesis general .....                       | 52 |
| 6.1.2. Contratación con la hipótesis específica .....                    | 52 |
| 6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares .....   | 53 |
| 6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes .....   | 54 |
| VII. CONCLUSIONES.....   | 55 |
| VIII. RECOMENDACIONES .....  | 56 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....                                     | 57 |
| ANEXOS .....   | 67 |
| ANEXO I: MATRIZ CONSISTENCIA.....  | 68 |
| ANEXO II. CERTIFICADOS DE CALIBRACION DE LOS EQUIPOS.....                | 69 |
| ANEXO III: HOJA DE CALCULO .....   | 72 |
| ANEXO IV. FOTOGRAFICOS.....  | 74 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Tabla 1</b>  | Valores del potencial zeta y las características de la suspensión.....      | 22 |
| <b>Tabla 2</b>  | Eficiencia de coagulantes naturales en la reducción de la turbidez .....    | 24 |
| <b>Tabla 3</b>  | Operacionalización de las variables operacional .....                       | 34 |
| <b>Tabla 4</b>  | Diseño experimental de las variables .....                                  | 35 |
| <b>Tabla 5</b>  | Resultados de la caracterización fisicoquímica inicial del río Chillón..... | 42 |
| <b>Tabla 6</b>  | Resultados de la matriz experimental de los diferentes tratamientos .....   | 44 |
| <b>Tabla 7</b>  | Análisis de varianza (ANOVA) para la turbidez.....                          | 45 |
| <b>Tabla 8</b>  | Análisis de coeficientes de regresión múltiple de la turbidez .....         | 46 |
| <b>Tabla 9</b>  | Resumen del modelo .....  | 46 |
| <b>Tabla 10</b> | Análisis de varianza (ANOVA) para sólidos suspendidos totales .....         | 49 |
| <b>Tabla 11</b> | Análisis de coeficientes de regresión múltiple para SST .....               | 50 |
| <b>Tabla 12</b> | Resumen del modelo .....  | 50 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Anatomía del Choro ( <i>Aulacomya atra molina</i> ).....               | 16 |
| <b>Figura 2</b> Filtro de arena .....  | 18 |
| <b>Figura 3</b> Filtración por membrana .....  | 19 |
| <b>Figura 4</b> Filtración por flotación .....   | 20 |
| <b>Figura 5</b> Repulsión de cargas eléctricas.....                                    | 21 |
| <b>Figura 6</b> Coagulantes químicos más usados en el Perú .....                       | 23 |
| <b>Figura 7</b> Equipo Jar test .....  | 25 |
| <b>Figura 8</b> Estructura química de la quitina .....                                 | 26 |
| <b>Figura 9</b> Estructura química del quitosano .....                                 | 27 |
| <b>Figura 10</b> Reacción de desacetilación heterogénea.....                           | 28 |
| <b>Figura 11</b> Reacción de desacetilación mediante deacetilasas de quitina.....      | 29 |
| <b>Figura 12</b> Diagrama de bloques de la obtención del quitosano .....               | 31 |
| <b>Figura 13</b> Trituración, molienda y tamizado de la concha de Choro.....           | 36 |
| <b>Figura 14</b> Reacción de desacetilación heterogénea.....                           | 37 |
| <b>Figura 15</b> Proceso de coagulación pH= 6 a 100, 200, 300 y 400 ppm .....          | 38 |
| <b>Figura 16</b> Resultado final del proceso de coagulación y floculación a pH 6 ..... | 39 |
| <b>Figura 17</b> Medición de la turbidez final obtenida .....                          | 39 |
| <b>Figura 18</b> Características fisicoquímicas del río Chillón .....                  | 42 |
| <b>Figura 19</b> Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....                     | 47 |
| <b>Figura 20</b> Gráfica de efectos principales para % reducción de la turbidez .....  | 48 |
| <b>Figura 21</b> Gráfica de probabilidad de residuos.....                              | 48 |
| <b>Figura 22</b> Gráfica de probabilidad del % SST .....                               | 51 |

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**SST:** Sólidos suspendidos totales

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**PPM:** Partes por millón

**RPM:** Revolución por minuto

**NTU:** Unidad nefelométrica de turbidez

## RESUMEN

En la actualidad la búsqueda de nuevas alternativas para la remoción de la turbidez en el tratamiento de aguas residuales se vuelve cada vez más importante; debido al gran impacto ambiental que genera el uso frecuente de coagulantes inorgánicos a nivel industrial en el Perú. El objetivo de la investigación fue la determinación de la eficiencia del quitosano (coagulante natural) extraído a partir del choro "*aulacomya atra molina*" para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón. Para evaluar la eficiencia se hizo uso del diseño factorial con dos factores, como son la concentración del coagulante a los niveles (100, 200, 300 y 400 mg/L) y el pH de la solución (6, 7 y 8), mediante el equipo jar test. Los resultados obtenidos, determinaron el % de reducción de la turbidez en un 71.87% a una concentración de 400 mg/L y pH 6, por lo cual se concluyó que el quitosano extraído del choro "*aulacomya atra molina*" tiene poca efectividad en la remoción de la turbidez.

**Palabras clave:** *Coagulante natural, quitosano, turbidez.*

## ABSTRACT

Currently, the search for new alternatives for the removal of turbidity in wastewater treatment becomes increasingly important; due to the great environmental impact generated by the frequent use of inorganic coagulants at an industrial level in Peru. The objective of the investigation was the determination of the efficiency of the chitosan (natural coagulant) extracted from the choro "*aulacomya atra molina*" for the reduction of the turbidity of the water coming from the Chillón river. To evaluate the efficiency, the factorial design was used with two factors, such as the concentration of the coagulant at the levels (100, 200, 300 and 400 mg/L) and the pH of the solution (6, 7 and 8), through the jar test team. The results obtained determined the % reduction of turbidity by 71.87% at a concentration of 400 mg/L and pH 6, for which it was concluded that the chitosan extracted from choro "*Aulacomya atra molina*" it has little efficacy in removing turbidity.

**Keywords:** *Natural coagulant, chitosan, turbidity.*

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la contaminación del agua es una de las principales preocupaciones ambientales, y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha identificado que la principal fuente de contaminación del agua es la descarga de aguas residuales sin un tratamiento adecuado [1].

En el ámbito nacional el río Chillón es uno de los ríos más importantes de Lima, Perú. Nace en la cordillera de Huayhuash y atraviesa varios distritos de la ciudad de Lima antes de desembocar en el Océano Pacífico, sin embargo, el río Chillón ha ido incrementando la contaminación de sus aguas, este problema se viene observando desde hace muchos años [2]. La contaminación de sus aguas se debe varios factores, entre los cuales se incluye la descarga de aguas residuales tanto domésticas e industriales, vertido de residuos sólidos, actividades agropecuarias, criaderos de porcinos, papeleras y curtiembres, a lo largo de la cuenca del río, tomando mayor impacto en la cuenca baja. Debido a esta problemática, la calidad del agua del río Chillón presenta alteración en sus parámetros fisicoquímicos, reflejándose en el cambio de su pH, temperatura, color, turbidez y entre otros [3]. Con el fin de reducir la turbidez del agua se pueden utilizar coagulantes sintéticos o naturales, los cuales disminuyen un porcentaje importante de sólidos suspendidos presentes en el agua [4].

En esta investigación se evaluó la eficiencia del quitosano extraído del choro (*Aulacomya atra molina*) como coagulante natural para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón mediante la prueba de jarras.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

Uno de los mayores problemas en el tratamiento del agua es la turbidez, la cual es causada por partículas suspendidas y coloidales, como contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos [5]. Para solucionar este problema, se utilizan varios métodos para eliminar estas partículas, como la precipitación química, tratamiento biológico, filtración por membrana, fotocátalisis, filtración por arena, coagulación/floculación y adsorción. Entre los métodos anteriores, la coagulación es muy eficaz para eliminar los sólidos en suspensión [6], pero el proceso se puede lograr mediante la adición de coagulantes químicos como el alumbre, el cloruro férrico, el sulfato férrico, el sulfato ferroso, el hidróxido de calcio, el cloruro de poli aluminio, aunque existen desventajas asociadas con su uso, costos, efectos perjudiciales sobre el medio ambiente, aumento de la toxicidad del agua tratada y formación de grandes cantidades de lodos [7].

Por lo tanto, existe la necesidad de investigar sustitutos alternativos, rentables y respetuosos con el medio ambiente de los coagulantes químicos [8]. Los investigadores han realizado numerosos estudios sobre el desarrollo de coagulantes naturales que se pueden obtener a partir de tejidos vegetales, animales, agrícolas y desechos de frutas para eliminar la turbidez en el agua [9]. Los coagulantes naturales de plantas, semillas, crustáceos marinos y biomásas de mariscos (camarones y cangrejos) y organismos microbianos son bioextractos que generalmente son saludables y respetuosos con el medio ambiente, biodegradables, no tóxicos, no corrosivos y de bajo formación de lodos, asimismo, incluyen disponibilidad, bajo costo, alta biocompatibilidad y facilidad de modificación química [10].

Para la selección del tipo de coagulante se debió tener en cuenta el análisis ambiental, técnico, económico y social.

## **1.2. Formulación del problema (problema general y específicos)**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la eficiencia del quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural para la reducción de la turbidez de agua proveniente del río Chillón?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuáles son los parámetros de análisis fisicoquímicos más relevantes del agua proveniente del río Chillón?

¿Cuál es la concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (quitosano) para la reducción de la turbidez de agua proveniente del río Chillón?

## **1.3. Objetivos (general y específicos)**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia del quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Determinar las características fisicoquímicas más relevantes del agua proveniente del río Chillón.

Determinar la concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (quitosano) para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón.

## **1.4. Justificación**

La contaminación de los ríos y efluentes es cada vez mayor a nivel mundial. En nuestro país el río Chillón es uno de los más contaminados debido al aumento exponencial del urbanismo en las riberas y a la falta de cultura de desecho de los residuos, la cual trae como consecuencia que cada vez sea más difícil poder clarificar el agua de los ríos y remover los sólidos suspendidos para su tratamiento primario. Entre las técnicas más utilizadas para tratamiento de dichos efluentes, la coagulación-floculación muestran resultados positivos en la reducción de la turbidez.

Actualmente los insumos químicos más utilizados en el tratamiento de dichos efluentes son coagulantes de tipo inorgánico tales como las sales aluminio y hierro; los cuales generan riesgos a nuestra salud ; es por ello que nuestra investigación propone la utilización de coagulantes naturales en la remoción de turbidez del agua del río Chillón, mediante el uso del quitosano extraído de la concha choro *aulacomya atra molina*; dado que al ser un polímero no tóxico y biodegradable no genera un riesgo para la salud de las personas; además de brindar un aporte socio económico al darle un aprovechamiento y valor agregado a los desechos de concha de choro *aulacomya atra molina*.

## **1.5. Delimitantes de la investigación (teórico, temporal, espacial)**

### **1.5.1. Teórica**

Esta investigación se enmarca en la teoría del tratamiento de aguas, específicamente en el tratamiento primario mediante coagulación-floculación con el uso de alternativas de reemplazo a coagulantes químicos por coagulantes naturales; en beneficio de la preservación del ambiente.

### **1.5.2. Espacial**

La toma de muestras fue realizada en las aguas superficiales en las orillas de la cuenca baja del río Chillón a la altura de la Av. Cordialidad en el distrito de Puente Piedra. El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

### **1.5.3. Temporal**

La investigación se realizó en un periodo de 3 meses empezando en el mes de enero 2023, en tiempo de lluvia y culminó en marzo del mismo año. La presente investigación puede ser aplicada en donde las características sean similares a esta época del año.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes: Internacionales y nacionales

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

En el trabajo de investigación “Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleífera* en el proceso de clarificación del agua”, los autores realizaron un muestreo simple del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico y mediante la prueba de jarras simuló un proceso de clarificación y observó la reducción de turbidez con cada coagulante; obteniendo como resultados que la disminución turbidez con el sulfato de aluminio en un 96% utilizando una concentración 20 mg/l a un rango de pH 5.5-8; mientras que las semillas de *Moringa oleífera* redujeron en un 64% utilizando una dosis 750 mg/l a un rango de pH 6.5 – 8. Concluyendo que, por su baja toxicidad, este coagulante natural es una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio de la ciénaga de Malambo-Atlántico [11].

En el estudio de la “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante”, analizaron la eficiencia de la médula de banano como coagulante comparándolo con el sulfato de aluminio. Utilizaron dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/l. El proceso de clarificación fue realizado mediante la prueba de jarras usando muestras de agua del río en Barranquilla, departamento del Atlántico, Colombia. El pH inicial de la muestra del río afecta significativamente el proceso de coagulación, de forma que la cantidad de coagulante a utilizar sea mayor. Comprobaron, que el coagulante natural reduce la turbidez inicial del agua del río (210 UNT) en un 67,57% a un pH de 6.5-8.5 [12].

En la investigación “Estudio y optimización de la cinética de coagulación utilizando la metodología de superficie de respuesta para la eliminación efectiva de la turbidez de las aguas residuales de pintura utilizando coagulantes naturales”, emplearon la prueba de jarras para los experimentos y evaluaron el desempeño de algunos coagulantes naturales derivados de *Hibiscus esculentus* L (okra), *Detarium microcarpum* (deter dulce), *Xanthosoma* (cocoyam) y *Crassostrea Virginica* (concha de ostra). Llegaron a la conclusión que la eliminación de la turbidez se presentó en un rango de pH de 2 a 4, dosis de 100 a 200 mg/L y tiempo de sedimentación de 30 min para los coagulantes, con una eficiencia de eliminación de 60 a 92.6 %. El estudio

ha demostrado que el coagulante se puede utilizar en el tratamiento de la turbidez de las aguas residuales de pintura. [6]

En el trabajo de investigación “Evaluación de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales”. Realizó una evaluación de la eficiencia del polvo de la semilla de tamarindo extraído por dos métodos (frío y caliente) y un agente coagulante primario (alumbre) en el proceso de coagulación, donde se controló las variables de concentración del coagulante con dosis de 35 y 40 mg/L y velocidad de agitación (100 y 200 rpm). Se determinó que el coagulante natural de semilla de tamarindo, extraído en frío, alcanzó una eficiencia de remoción entre 71-74% para una concentración de coagulante de 40 mg/L siendo la turbidez inicial de  $310,67 \pm 5,16$  NTU. Además, indicaron que el coagulante natural no alteró en gran medida el pH inicial del agua tratada [13]

En el trabajo de investigación “Eficiencia del quitosano como coagulante en el tratamiento de efluentes de una planta de sacrificio de cerdo”, evaluaron la eficiencia del quitosano como coagulante natural y la caracterizaron de los efluentes mediante los siguientes parámetros: pH, turbidez, color y sólidos totales (STT). El tratamiento de los efluentes se realizó mediante la prueba de jarras a diferentes concentraciones de 50 a 800 mg/L del quitosano disuelto en ácido acético. Compararon la efectividad del quitosano (700 mg/L) con sulfato de aluminio (430 mg/L) y poliacrilamida (90 mg/L). La dosis de quitosano (700 mg/L) permitió obtener porcentajes de reducción de turbidez de 83,1%, para valores iniciales de 15,6 NTU. Los autores concluyeron que las diferencias entre las dosis del quitosano (700 mg/L) y los coagulantes convencionales (430 mg/L) de sulfato de aluminio y (90 mg/L) de poliacrilamida en la reducción de NTU, fue de 83,2 %, 86,5% y 88.2% respectivamente observaron que el tratamiento con quitosano fue el coagulante con mayor eficiencia de reducción [14].

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la Investigación, “Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (*solanum tuberosum*) en la purificación del agua del río Patari para uso de consumo humano”, los autores determinaron la eficiencia de clarificación del coagulante natural del *Solanum Tuberosum* (papa) para eliminar los sólidos en suspensión del agua. Concluyeron que el coagulante natural de la papa (*Solanum Tuberosum*) tiene la capacidad de clarificación de 86.3% a un porcentaje

de almidón extraído de la papa (*Solanum Tuberosum*) de 9.9%; lo que permite remover los sólidos suspendidos a una dosis óptima de 80 mg/L de coagulante con el agua a tratar para volverla apta para consumo humano [15].

En el trabajo de Investigación, “Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) como coagulante natural en las aguas del río Chillón”. El objetivo de la investigación fue estudiar el efecto clarificador de la cascara de cacao, como coagulante natural en la reducción de los sólidos suspendidos totales y la remoción de la turbidez de las aguas del Río Chillón. Los resultados obtenidos mostraron la eficiencia de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) para mejorar las características del agua del río Chillón con una remoción de la turbidez de hasta 91,2% de remoción mientras que los SST del 48.78% [16].

En la investigación denominada “Remoción de turbidez del agua utilizando cono de pino como coagulante natural”. Los autores tuvieron como objetivo determinar la dosis óptima de coagulante natural del cono de pino. Para el proceso de coagulación utilizaron el agua del río Shilcayo de la provincia de San Martín con extracto de cono de pino mediante la prueba de jarras a 200 rpm durante 1 min (velocidad rápida) y 30 rpm durante 20 min (velocidad lenta). Determinó que el proceso de coagulación está influenciado por el pH, para lo cual realizó pruebas de coagulación con distintos pH de 6 a 8.5, donde observó que los mejores valores de coagulación se dieron en pH extremadamente ácidos o básicos, obtuvo una eficiencia de coagulación de 63 y 63.2 % en un pH de 6 y turbidez inicial de 94 y 205 NTU respectivamente. De igual manera simuló una actividad de coagulación deficiente de pH neutro, pH=7 donde obtuvo una eficiencia de 62 y 62.1 % para turbiedades iniciales de 94 y 205 NTU. obtuvo una eficiencia de coagulación de 74 y 77 % a un valor de pH =2 y turbidez inicial del agua de 67 y 75 NTU, llegó a determinar la dosis óptima de 0.5 ml/L de solución de coagulante natural de cono de pino para reducir la turbidez en 62 % a 62.1 %, para agua cruda superficial del río Shilcayo de 94 a 205 NTU [17].

En el trabajo de investigación “Optimización en la remoción de turbidez mediante prueba de jarras empleando quitosano a partir de las escamas del *Trachurus Murphyi*” se destacó la importancia del quitosano como coagulante natural de *Trachurus murphyi* (jurel), para la remoción de la turbidez de las aguas provenientes del río Rímac. Realizaron el análisis en los meses de diciembre a marzo (época de lluvia)

meses donde se registra una alta turbiedad, alcanzaron valores cercanos a los 46000 NTU. Realizaron el proceso de coagulación mediante la prueba de jarras, haciendo uso de coagulantes químicos ( $Al_2(SO_4)_3$ ). Concluyeron que la dosis óptima del quitosano fue de 9 mg/L donde logró remover el 88% de la turbidez, llegando a valores de 3.9 NTU [18].

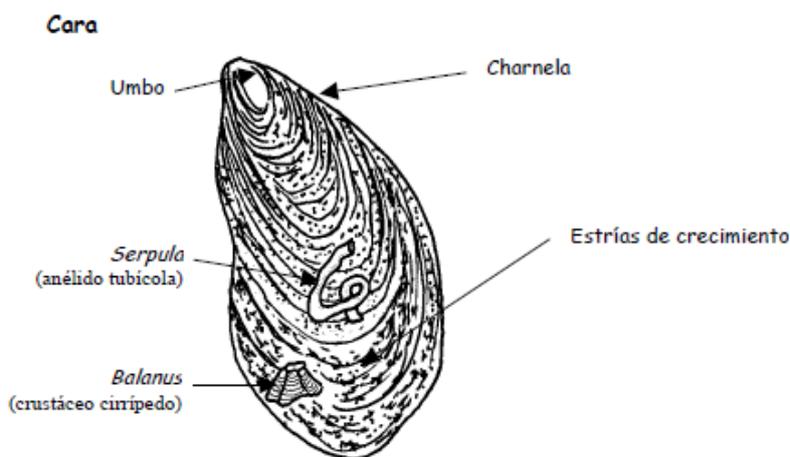
## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. *Choro (Aulacomya atra molina)*

Es un molusco bivalvo filtrador de la familia Myliidae nativa de América del sur. La capa externa es de color negro-azulado brillante de café oscuro; una parte de la concha es curvada y la otra puntiaguda; la charnela tiene un único diente en la valva izquierda. Y el interior de las valvas es nacarado [19]., tal como se muestra en la figura 1.

### Figura 1

*Anatomía del Choro (Aulacomya atra molina)*



Fuente: Universidad da Coruña, (2019)

### 2.2.2. Características fisicoquímicas del agua de río

**Turbidez.** Medida de la falta de transparencia de una muestra de agua debido a la presencia de partículas extrañas y sólidos en suspensión. Estas partículas pueden ser placton, microorganismos, barro, sustancias no disueltas, etc. La medida de la turbidez se utiliza para determinar el nivel de penetración de la luz en el agua y permite interpretar conjuntamente con la luz solar recibida y la cantidad de oxígeno disuelto el aumento o disminución del material suspendido en el agua. La turbidez es medida

en unidades nefelométricas (NTU) determinadas empíricamente por aparatos llamados turbidímetros [21].

**pH.** Es la concentración de iones hidrógenos, y se define como  $\text{pH} = -\log(1/(\text{H}^+))$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar los usos específicos del agua.

La medición se realiza fácilmente con un pHmetro bien calibrado o también usando papeles, que por coloración indican el pH. Los valores de pH han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varían con ella [22].

**SST.** Los sólidos totales en suspensión es la concentración de partículas retenidas en un medio filtrante de fibra de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micras. Su determinación se realiza mediante gravimetría [23].

**Río Chillón.** La cuenca del río Chillón limita por el sur con la cuenca del río Rímac, por el norte con la cuenca del río Chancay en Huaral, por el este con la cuenca del río Mantaro y por el oeste con el océano pacífico. La cuenca de estudio abarca un área de 2353.53 km<sup>2</sup> de superficie, de los cuales 1089 km<sup>2</sup> (46.5%), corresponde a la cuenca baja o colectora del río Chillón [24].

En la cuenca baja del río Chillón es contaminada debido a que principalmente las industrias y municipios arrojan aguas residuales y desechos a sus vertientes [25].

### **2.2.3. Turbidez**

La turbidez es la dificultad de la transmisión de luz por el agua; debido a materia suspendida, coloidal o fina, que se encuentra principalmente en aguas superficiales. Su unidad de medición es la unidad nefelométrica (NTU o UNF) [26].

### **2.2.4. Métodos para la reducción de turbidez en las aguas**

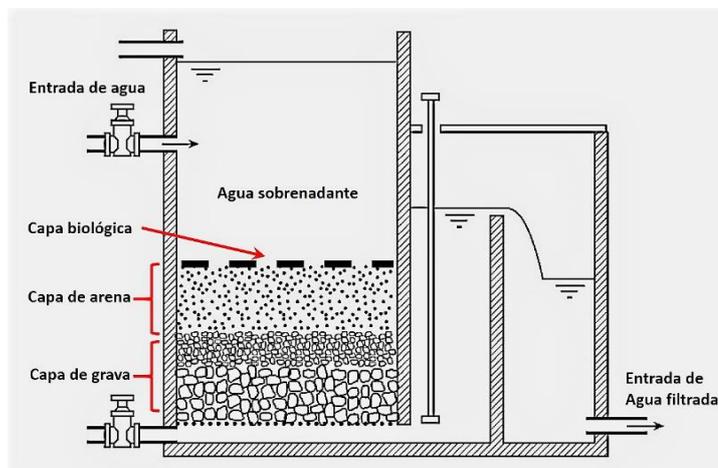
Dado a que las aguas superficiales generalmente están expuestas a contaminarse con relativa facilidad, son frecuentemente tratadas y desinfectadas antes de la distribución. Los métodos más comúnmente usados son:

### ***Filtración lenta en arena.***

El filtro lento consiste en un tanque regular en donde se le agrega una capa de arena de 1 m a 1.2 m de espesor, por debajo del cual se encuentra una capa de grava de 0.40 a 0.50 m. Debajo de la capa de grava se encuentra un sistema de drenaje que recoge el agua filtrada; mediante la acción de la gravedad, el agua pasa a través de los poros del medio filtrante y los sólidos suspendidos quedan adheridos a los granos de arena y grava. También se desarrollan en los granos de arena fina “película” de microorganismos, que al paso del agua retiene materia orgánica y bacterias. Después de cierto tiempo de operación, las capas superiores de filtración se van obstruyendo, por lo que es necesario lavar la arena, o sacarla del filtro [27]. La figura 2 muestra un típico filtro de arena.

**Figura 2**

*Filtro de arena*



Fuente: Geneva (2000)

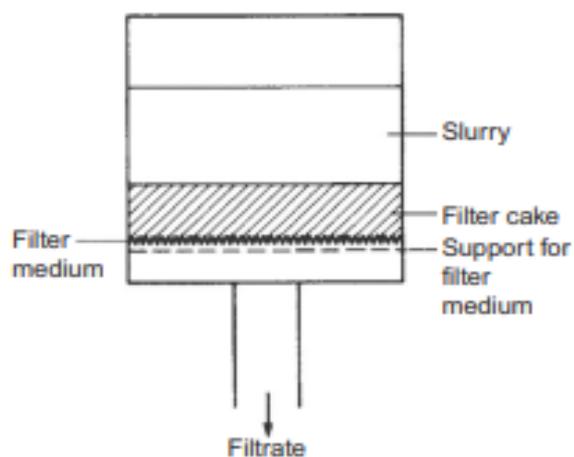
### ***Filtración por membrana.***

Una membrana se puede considerar una barrera o película permeo selectiva entre dos medios fluidos, que permite la transferencia de determinados componentes de un medio al otro a través de ella y evita o restringe el paso de otros componentes [29], como se muestra en la figura 3 pág. 19.

El proceso de separación se fundamenta en la filtración de membranas bajo presión. El agua purificada que pasa por una membrana es la fase permeada y la cantidad menor que no pasa la membrana es la fase retenida. Las membranas normalmente operan por exclusión de tamaño, a medida que se usan membranas con aperturas menores, se excluyen partículas menores e incluso moléculas y iones, pero se requieren presiones superiores y se consume más energía [30].

### Figura 3

*Filtración por membrana*



Fuente: Raj Chhabra y Madivala (2019)

### **Flotación**

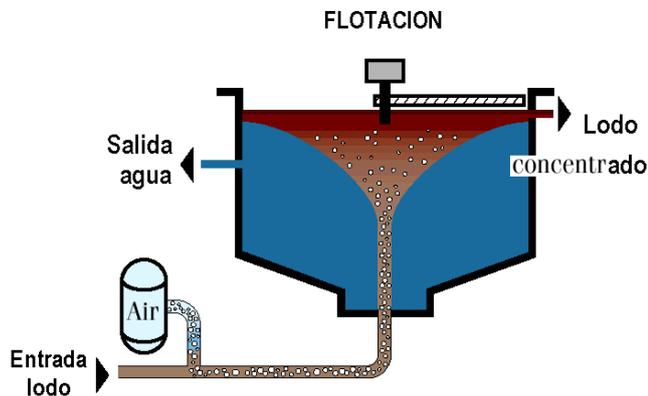
Operación unitaria por medio del cual se logra la separación de las partículas suspendidas en un medio líquido. La separación se puede lograr bajo dos principios: el primero es mediante el uso de un agente separador (aire), y el segundo aprovechando directamente la diferencia de densidad entre el líquido y las partículas, ver figura 4 pág. 20.

El primer caso se da agregando aire bajo la forma de microburbujas a un jugo de caña, por ejemplo, que contiene partículas muy finas de celulosa procedente de la caña (bagacillo). Las microburbujas de aire se adhieren al bagacillo y, por la tendencia del aire a espaciar hacia la superficie, arrastran

la partícula permitiendo la separación y formando en la superficie una especie de cachaza, que se puede retirar continuamente [32].

#### Figura 4

##### *Filtración por flotación*



Fuente: Ramírez (2023)

El gráfico muestra el espesamiento por flotación, el cuál aprovecha la flotabilidad de las partículas cuando se les adhieren pequeñas burbujas de aire.

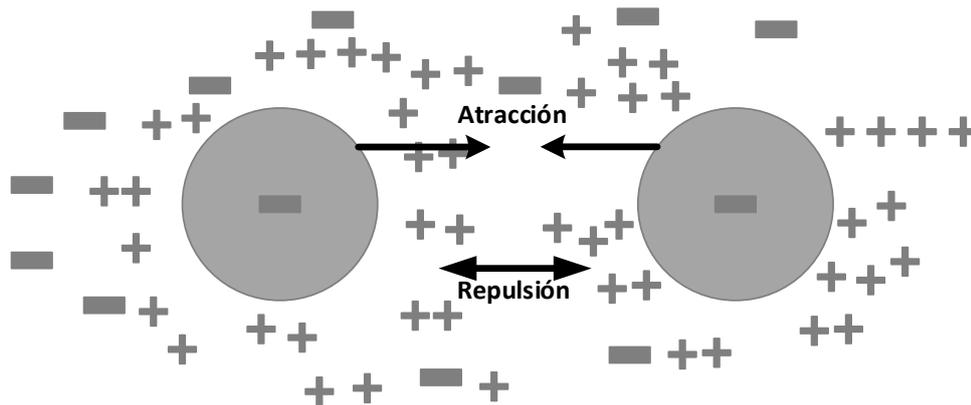
#### **2.2.5. Coagulación-floculación**

Es el proceso de desestabilización eléctrica de las partículas coloidales mediante la adición de sustancias químicas llamadas coagulantes. Esta operación se realiza en unidades de mezcla rápida en donde el agua es sometida a un proceso de turbulencia instantánea que facilita la dispersión del coagulante en toda la extensión de la masa acuosa [33], tal como se muestra en la figura 5 pág. 21.

La floculación es la etapa que sigue a la coagulación, en donde, una vez distribuido el agente coagulante en toda la masa acuosa, se reduce ahora su velocidad o turbulencia para permitir, mediante la agitación suave, las colisiones entre partículas y su aglomeración o crecimiento. La floculación se favorece mediante la agitación lenta, por cuanto ésta favorece las colisiones necesarias para el crecimiento de las partículas, pero una agitación muy fuerte o excesiva rompe las partículas y las suspende nuevamente por turbulencia [34].

**Figura 5**

*Repulsión de cargas eléctricas*



Fuente: Lorenzo (2020)

### **2.2.6. Fundamento de la coagulación (Potencial Z)**

Se define como parámetro físico que caracteriza la carga electrostática de las partículas que, a su vez, es el origen del movimiento de estas hacia el polo de la carga opuesta cuando se encuentran bajo la acción de un campo eléctrico. Los valores de electrocinéticas tales como la potencial zeta van a ser indicativos de la estabilidad de la suspensión coloidal; la potencial zeta como parámetro relacionado con la carga de los coloides refleja la capacidad de estos de absorber iones y moléculas dipolares. En el orden práctico, casi todos los coloides del agua son electronegativos, con un valor de potencial zeta de entre -14 mV y -13 mV. La adición de coagulante lleva a un cambio de carga de la partícula desde la negativa a positiva; a continuación, se muestra en la tabla 1 pág. 22 la relación del potencial zeta con respecto a las características de la suspensión coloidal [36].

**Tabla 1***Valores del potencial zeta y las características de la suspensión*

| <b>Valores del potencial zeta</b> | <b>Características de la suspensión</b>                     |
|-----------------------------------|---|
| + 3 a 0 mV                        | Aglomeración máxima y precipitación                         |
| - 1 a – 5 mV                      | Excelente aglomeración y precipitación                      |
| - 5 a – 10 mV                     | Buena aglomeración y precipitación                          |
| - 11 a – 20 mV                    | Comienzo de la aglomeración (agregados de 2 a 100 coloides) |
| - 21 a – 30 mV                    | Ligera estabilidad  |
| - 31 a – 40 mV                    | Sin agregados. Estabilidad media                            |
| - 41 a – 50 mV                    | Buena estabilidad   |
| - 51 a – 60 mV                    | Estabilidad muy buena                                       |
| - 61 a – 80 mV                    | Excelente estabilidad                                       |
| - 81 mV y en adelante             | Estabilidad máxima  |

Fuente: Calvo (2017)

Entre los factores que influyen en la coagulación se mencionan:

**Influencia del potencial de hidrógeno.** Si la coagulación se realiza fuera del rango de pH óptimo del recurso, entonces se debe aumentar la cantidad de coagulante para que el agua presente los niveles de pH admitido en el proceso está entre 6.5 a 8.0. [37]

**Concentración del coagulante empleado.** En el caso en que se llegara a agregar una cantidad pequeña de coagulante, esto no neutralizaría las cargas eléctricas por completo de las partículas, haciendo que la generación de flocs sean escasos y por tanto exista el aumento de la turbiedad residual. Sin embargo, en casos donde se añadan altas cantidades de coagulante, esto conllevará a la formación de gran cantidad de micro flóculos con bajas velocidades de sedimentación, los cuales al igual que en el primer caso generará una turbiedad residual elevada. [37]

**La temperatura.** Las diversas variaciones en la temperatura del recurso a tratar, generan la formación de corrientes de densidad de diferentes grados que pueden afectar la energía cinética de las partículas en suspensión,

causando que el proceso de coagulación se haga más lento, por ejemplo, si la temperatura del recurso disminuye en la unidad de decantación (unidad donde generalmente ocurre el proceso de coagulación/floculación) se genera un aumento de viscosidad, dificultando el proceso de sedimentación de los flocs presentes en el agua. [37]

### 2.2.7. Coagulación

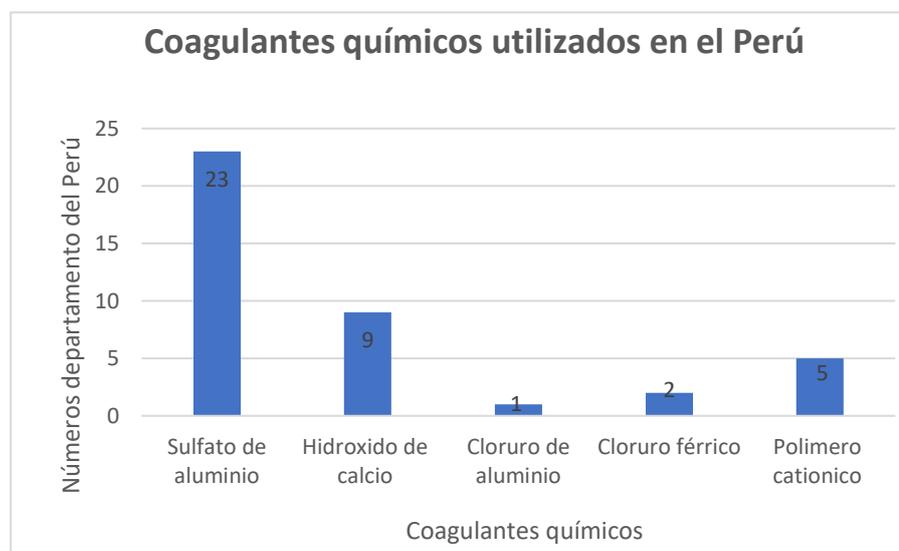
Sustancia química que, añadida al agua, produce la unión de las partículas en suspensión presentes en ella y su agrupamiento en coágulos.

#### Coagulantes Inorgánicos

Son compuestos de sales metálicas, que se caracterizan por su estabilidad y su bajo costo comercial en el tratamiento de aguas residuales. Por otra parte, se caracterizan por ser elevadamente sensibles al pH, generar grandes volúmenes de lodos y ser ineficientes en la remoción de partículas finas. Actualmente los más utilizados en el Perú son: el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico, como se muestra en la figura 6.

**Figura 6**

*Coagulantes químicos más usados en el Perú*



Fuente: Ynofuente y Flores (2020)

## Coagulantes naturales

También conocidos como biocoagulantes o polímeros naturales, son extraídos a partir de tejidos de animales o vegetales. Están compuestos de proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides que permiten la desestabilización de los sólidos suspendidos y la remoción de sólidos disueltos [39]. Estos polímeros naturales tienen propiedades coagulantes o floculantes, los cuales son usados en forma empírica para aclarar el agua turbia [40].

En la tabla 2 se muestran la eficiencia de coagulantes naturales.

**Tabla 2**

*Eficiencia de coagulantes naturales en la reducción de la turbidez*

| Coagulante                                   | Eficiencia de remoción turbidez (%) | Dosis óptima (mg/L) |
|--|-------------------------------------|---------------------|
| <b>Coagulantes de origen vegetal</b>         |                                     |                     |
| Opuntia ficus-indica (Olivero et al, 2013)   | 93.3 %                              | 40                  |
| Opuntia ficus-indica (Villabona et al, 2013) | 72.0 %                              | 90                  |
| <b>Almidones utilizados como coagulantes</b> |                                     |                     |
| Plátano (Trujillo et al, 2014)               | 98.9 %                              | -                   |
| Maíz (Rodríguez et al, 2007)                 | 99.0 %                              | 20                  |
| <b>Coagulantes de origen animal</b>          |                                     |                     |
| Quitosano (Rodriguez Y. et al, 2015)         | 96.0 %                              | 20                  |

Fuente: Castellano (2017)

### 2.2.8 Prueba de jarras

Las pruebas de jarras son ensayos empíricos, hechos a escala, que se utilizan para determinar el tipo de coagulante más adecuado y su dosificación para clarificar un tipo particular de agua al menor costo posible. En esencia dichas pruebas están orientadas a eliminar los sólidos suspendidos contenidos en un determinado tipo de efluente, algo que no es posible calcular a priori o mediante una ecuación, como sí sucede en los sólidos sedimentables. En una prueba de jarras se simulan tres procesos básicos de un sistema convencional de purificación de agua: coagulación, floculación y sedimentación [34].

Esta prueba consiste en 4 o 6 jarras (en vasos precipitados anchos de 1 L) con una paleta en la base de cada eje, las cuales serán las responsables de agitar la muestra. Dichos ejes están conectados a un motor eléctrico que los hace girar simultáneamente, como se muestra en la figura 7. A su vez, existe la posibilidad de modificar la velocidad de giro de las paletas y el tiempo deseado de funcionamiento [42].

### Figura 7

*Equipo Jar test*



Fuente: Rubio y Saravia (2020)

### 2.2.9 Quitosano

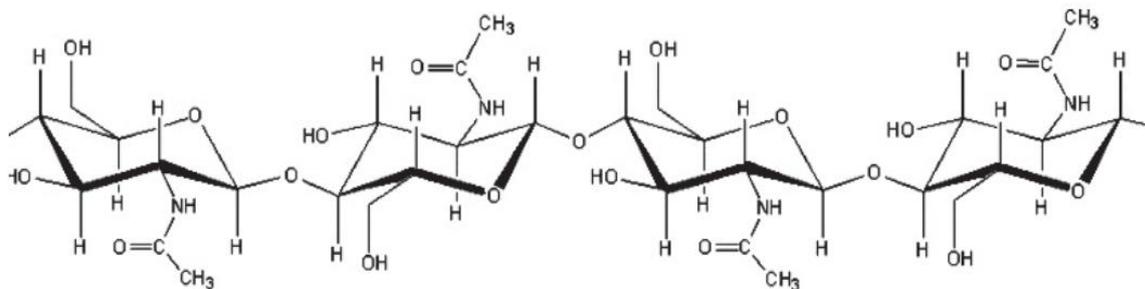
El quitosano es un polisacárido de alto peso molecular, obtenido por desacetilación parcial de la quitina (polímero natural de N-acetil D-glucosamina) en medio alcalino, ver figura 8 pág. 26; tiene propiedades químicas particulares muy importantes por ser el único polielectrolito catiónico [44]. Para los polielectrolitos, los efectos de

neutralización de carga dependen de la densidad de carga, definida como la distancia entre dos unidades de carga a lo largo de la cadena macromolecular, en el caso particular del quitosano, su densidad de carga depende del número de grupos amino protonados en su cadena principal que en general son abundantes, lo que dota al quitosano de una buena eficiencia de coagulación en el tratamiento de muchos contaminantes presentes en el agua, ya que ellos tienen una carga superficial negativa [44], ver figura 9 pág. 27.

Las propiedades químicas y físicas del quitosano dependen del peso molecular (MW), el grado de desacetilación (DD), el grado de cristalinidad, el grado de ionización del grupo de amino libre, entre otros factores, pero los más determinantes son el peso molecular (MW) y el grado de desacetilación (DD). [44]

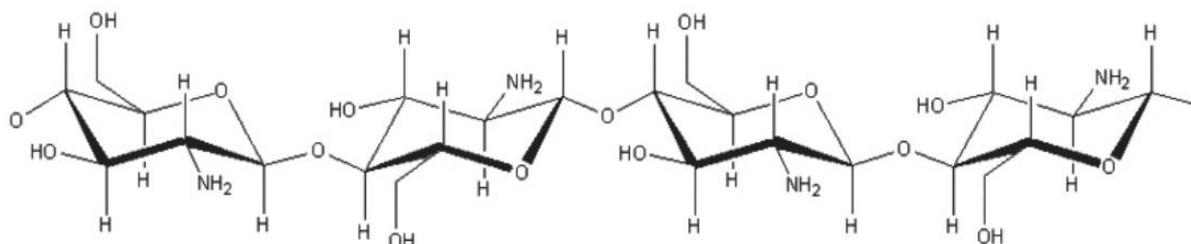
El quitosano comercial es obtenido principalmente de desechos de crustáceos de la industria pesquera y sus principales fuentes son los caparzones de cangrejo, camarón, langostino y langosta [45]

**Figura 8**  
*Estructura química de la quitina*



Fuente: Castro y Vidal (2015)

**Figura 9**  
*Estructura química del quitosano*



Fuente: Castro y Vidal (2015)

Durante la última década, la producción mundial anual de quitina y quitosano purificados se estimó en alrededor de 1.600 toneladas. Estados Unidos y Japón son los principales productores y en menor escala, destacan India, Italia y Polonia. Ahora bien, aunque no hay datos fiables, la producción ronda las 70.000 toneladas de producción anual. Esta cantidad no es suficiente para satisfacer la demanda mundial de quitosano como agente quelante y floculante para el tratamiento de aguas residuales, así como para satisfacer su uso como ingrediente en cosméticos y como complemento alimenticio.

### **2.2.10 Proceso de obtención del quitosano**

El quitosano se obtiene por desacetilación de la quitina por métodos químicos o enzimáticos. Sin embargo, las condiciones específicas de la reacción dependen de diversos factores, tales como el material de partida, el tratamiento previo, y el grado de desacetilación deseado [40].

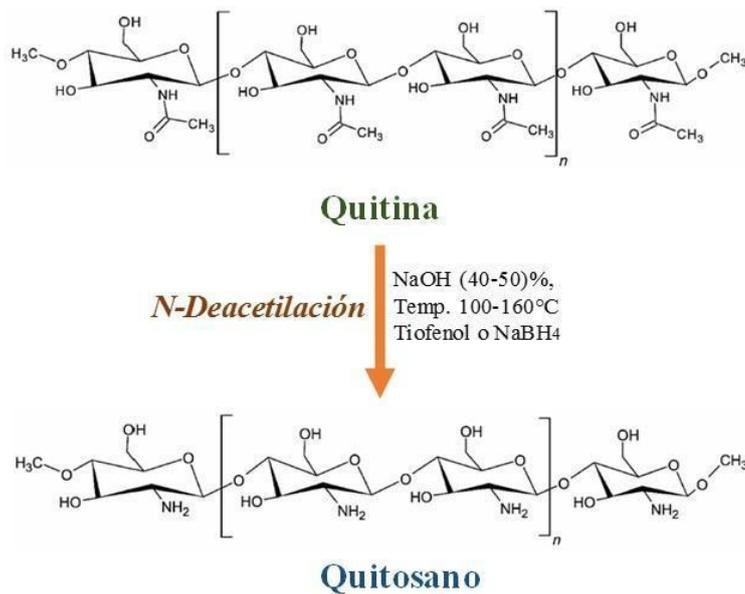
**Método químico.** Se puede llevar a cabo de dos formas, homogénea y heterogénea.

La desacetilación homogénea. La quitina es suspendida en álcali, para ser refrigerada con hielo hasta disolver la quitina en la solución. Luego se somete a desacetilación a temperaturas cercanas a la del ambiente durante períodos largos de tiempo. Esto permite que la reacción no se localice en determinados lugares de la cadena y que el ataque a los grupos amidas sea más uniforme. [40]

La desacetilación heterogénea, consiste en que las moléculas de quitina son dispersadas en una solución alcalina caliente, generalmente de hidróxido de sodio, como se muestra en la figura 10; las condiciones en las que se lleva a cabo la desacetilación heterogénea pueden reducir la longitud de la cadena, por este motivo es conveniente repetir varias veces el tratamiento alcalino por cortos periodos de tiempo y aislando el producto en cada etapa. Para disminuir la pérdida de peso molecular del polímero es conveniente la ausencia de oxígeno o la presencia de un antioxidante para evitar su despolimerización. Se ha demostrado que el quitosano obtenido vía heterogénea presenta poli dispersión del grado de acetilación de sus cadenas, a diferencia del obtenido por proceso homogéneo que tienen la misma composición [40].

**Figura 10**

*Reacción de desacetilación heterogénea*



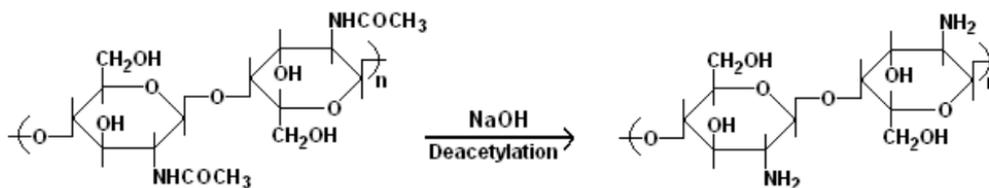
Fuente: Romero y Pereira (2020)

**Método enzimático.** La ventaja de este método respecto al químico es la obtención de un material uniforme en sus propiedades físicas y químicas, hecho muy apreciado para aplicaciones biomédicas. La quitina desacetilada es la enzima responsable de la conversión de quitina en quitosano mediante la desacetilación de residuos de N-acetil-D-glucosamina, como se muestra en

la figura 11. La limitación de este método es que la enzima no es muy efectiva en la desacetilación de quitina insoluble, y por lo tanto es necesario un pretratamiento. [40]

**Figura 11**

*Reacción de desacetilación mediante deacetilasas de quitina*



Fuente: Aragunde (2017)

### 2.3. Marco conceptual

Las características fisicoquímicas del agua de río, de interés para esta investigación son: la turbidez que se mide por la intensidad de luz dispersada cuando pasa a través de una muestra de agua, utilizando el nefelómetro o turbidímetro; el pH porque puede influir en los procesos de coagulación y floculación; y sólidos suspendidos totales que nos indican la cantidad de residuos retenidos influyendo en la turbidez.

El río Chillón que nace en la provincia de Canta y desemboca en el mar. La cuenca alta abarca desde su origen hasta Santa rosa de Quives y la cuenca baja abarca los distritos Ancón, Ventanilla, Puente Piedra, Carabayllo, los Olivos y Comas, presenta entre sus características de turbidez.

El estudio se realizó en la cuenca baja del río Chillón, específicamente en el distrito de los Olivos. Entre los meses de abril y diciembre se presenta escasez de agua en el río, por estar en la época de estiaje; pero de enero a marzo se incrementa su caudal significativamente debido a las lluvias en la sierra presentando alta turbidez.

Entre los métodos para reducir la turbidez están: los filtros de arena, filtración por membrana, fotocatalisis y coagulación/floculación. Este último es una operación del tratamiento primario o del tratamiento de aguas con la finalidad de reducir la opacidad debido a las partículas coloidales en el seno del líquido.

La coagulación, necesariamente va seguida de la floculación de manera simultánea porque se complementan. Este proceso depende de varios factores, entre ellos los más importantes son la valencia del ion del coagulante, el tamaño de partículas, la temperatura, el pH, alcalinidad, tipo, dosis y concentración del coagulante además de la velocidad de la mezcla.

A continuación, se detalla el proceso de obtención del quitosano a partir de la concha de Choro (*aulocomya atra molina*), de acuerdo a la investigación [46]:

**Secado, molienda y tamizado del choro,** En la primera etapa del proceso para la obtención del quitosano. Se seca a una temperatura de 65 °C por 72 horas, para ser molido hasta obtener un polvillo fino, este se procedió a tamizar en malla 250 mm - 300 mm.

**Despigmentación:** Del polvillo obtenido se procedió con la despigmentación con acetona a temperatura ambiente por 10 minutos, se enjuagan varias veces hasta llegar a un pH:6 – 7.5, luego se procedió a realizar el filtrado al vacío.

**Desmineralizado:** Se utilizó HCl a 2M con agitación constante por un periodo de 2 horas, Se enjuagan varias veces, hasta llegar a un pH (6-7.5), luego se secó a 65 °C por 24 horas.

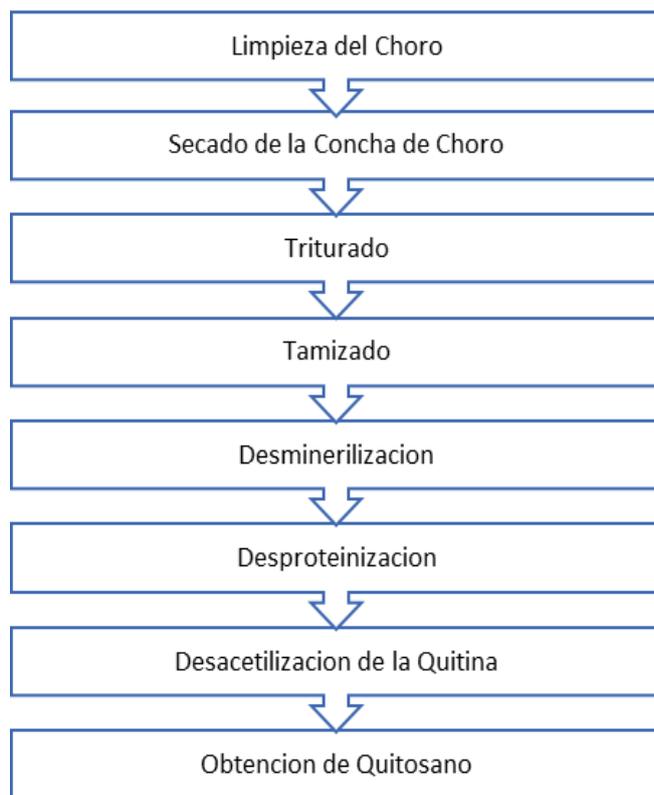
**Desproteización:** Se utilizó NaOH 2N en agitación constante por 3 horas a 70 °C. Se enjuago varias veces, hasta llegar H (6-7.5), luego secar a 65 °C por 24 horas realizar filtración al vacío.

**Desacetilación:** Una vez obtenido el polvo desproteizado (quitina) se usó una solución de NaOH, con agitación constante a una temperatura de 85 °C, por un periodo de 1 hora, se enjuago varias veces hasta obtener un pH (6 - 7.5), para filtrar al vacío, obteniendo así el quitosano.

En la figura 12 pág. 31, muestra las etapas del proceso de extracción del quitosano, realizadas en la unidad de investigación de la Universidad Nacional del Callao.

**Figura 12**

*Diagrama de bloques de la obtención del quitosano*



### **2.3 Definición de términos básicos**

#### **Aguas superficiales de un río**

Las aguas superficiales de un río, son las aguas que circulan sobre la superficie del suelo. El agua superficial se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. [49]

#### **Coagulantes naturales**

Son compuestos orgánicos como proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides; extraídos de plantas, animales (exoesqueletos) o microorganismos. [50]

#### **Quitina**

Polisacárido natural que forma la base para los tegumentos duros externos de crustáceos, insectos y algunos otros invertebrados. [51]

## **Quitosano**

Copolímero obtenido a partir de la N-desacetilación parcial de quitina. Este copolímero es actualmente de gran interés porque es biodegradable, biocompatible, no tóxico y su estructura química permite modificaciones específicas al diseño polímeros para aplicaciones seleccionadas [51]

## **Sólidos totales en suspensión (TSS)**

Material particulado mayores a 0.45 micras que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. [52]

## **pH**

Es la medida de la concentración de iones hidrógeno, en soluciones acuosas. [53]

## **Coloide**

Es un sistema conformado por dos o más fases, normalmente una fluida (líquido) y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas muy finas, de diámetro comprendido entre  $10^{-9}$  y  $10^{-5}$  m. [54]

## **Partículas en suspensión**

Son pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en el agua como coloide, debido al movimiento del agua. Los sólidos en suspensión se pueden remover mediante sedimentación debido a su tamaño significativamente grande. [55]

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis (general y específicas)

##### 3.1.1 Hipótesis general

La eficiencia del quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón será del 75%.

##### 3.1.2 Hipótesis específicas

Los parámetros fisicoquímicos más relevantes del agua proveniente del río Chillón serán: pH, turbidez, sólidos suspendidos totales.

La concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (quitosano) para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río chillón será 100 mg/L.

#### 3.2. Operacionalización de variable

A continuación, se muestra en la tabla 3 pág. 34 la operacionalización de variables identificadas, así como sus correspondientes indicadores.

Variables independientes

**X<sub>1</sub>**: Características fisicoquímicas del agua del río Chillón

**X<sub>2</sub>**: Concentración del coagulante natural extraído del choro (quitosano).

Variable dependiente

**Y<sub>1</sub>**: Eficiencia del quitosano extraído del choro

**Tabla 3**  
Operacionalización de las variables operacional

| Variable  | Definición conceptual  | Definición operacional  | Dimensiones                           | Indicadores   | Método        | Técnica   |
|---|--|---|---------------------------------------|---|---------------|---|
| <b>Dependiente</b>  |  |   |                                       |   |               |   |
| Eficiencia del quitosano extraído del choro                                       | Capacidad de disponer de algo para conseguir un efecto determinado [56]                              | Porcentaje de la reducción de la turbidez del agua del río chillón utilizando el quitosano extraído del choro ( <i>Aulacomya Atra</i> ) como coagulante natural | Reducción de la turbidez              | % Reducción de la turbidez                            | Cálculo       | Fórmula<br>$\%R = \frac{t_i - t_f}{t_i} \times 100$ |
| <b>Independiente</b>  |  |   |                                       |   |               |   |
| Características fisicoquímicas del agua del río Chillón que conforman la muestra. | Son las que nos informan sobre el comportamiento del material ante diferentes acciones externas [57] | Valores de la turbidez del agua, pH, SST, conductividad, temperatura  | Características fisicoquímicas        | Turbidez<br>pH<br>SST<br>Conductividad<br>Temperatura | Instrumental  | Multiparámetro                                      |
| Concentración del coagulante natural extraído del choro (quitosano)               | Magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen [58]                         | Dosificación del coagulante   | Concentración de coagulante<br><br>pH | 100,200,300,<br>400 mg/L<br><br>6,7,8                 | Observacional | Prueba Jar-Test                                     |

## IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1. Diseño metodológico

La investigación realizada es experimental con un enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, estos datos son representados en forma de número que son analizados estadísticamente [59]. En función a su propósito, la investigación es de tipo aplicada y explicativa [59] porque permite manipular la variable independiente y determinar el efecto deseado. De acuerdo con el tiempo en el que se efectúa la investigación es de tipo transversal [59], porque los datos se recogen en un solo momento, en un tiempo único.

En la tabla 4 se muestra la matriz del diseño experimental se observa 12 pruebas experimentales (4x3) cada prueba se realizó por triplicado. Teniendo como factores estudiados la concentración de coagulante y el pH; así mismo muestra los niveles de experimentación de cada factor.

**Tabla 4**

*Diseño experimental de las variables*

| Número de Prueba | Concentración de coagulante, ppm | pH | Reducción de la turbidez, % |
|------------------|----------------------------------|----|-----------------------------|
| 1                | 100                              | 6  | Y <sub>1</sub>              |
| 2                | 100                              | 7  | Y <sub>2</sub>              |
| 3                | 100                              | 8  | Y <sub>3</sub>              |
| 4                | 200                              | 6  | Y <sub>4</sub>              |
| 5                | 200                              | 7  | Y <sub>5</sub>              |
| 6                | 200                              | 8  | Y <sub>6</sub>              |
| 7                | 300                              | 6  | Y <sub>7</sub>              |
| 8                | 300                              | 7  | Y <sub>8</sub>              |
| 9                | 300                              | 8  | Y <sub>9</sub>              |
| 10               | 400                              | 6  | Y <sub>10</sub>             |
| 11               | 400                              | 7  | Y <sub>11</sub>             |
| 12               | 400                              | 8  | Y <sub>12</sub>             |

## 4.2. Método de investigación

La investigación tuvo 4 etapas

### Primera Etapa. Recolección del agua del río Chillón

La recolección de la muestra del agua proveniente del río Chillón, se llevó a cabo en el distrito de Los Olivos, provincia y departamento de Lima. Para realizar los experimentos correspondientes, el agua recolectada se almacenó en recipientes plásticos previamente desinfectados y se transportó al laboratorio de Soluciones Químicas Ambientales SAC - SQA PERÚ y se midieron parámetros iniciales como turbidez, pH, temperatura, conductividad y sólidos suspendidos totales.

### Segunda Etapa. Obtención de quitosano del choro (*Aulacomya Atra Molina*)

Luego de la trituración molienda y tamizado, ver figura 13, se procedió a la obtención del coagulante natural de Quitosano, mediante desacetilación de la quitina ver figura 14 pág. 37. Para lo cual se tomó como referencia la investigación “Estudio comparativo de obtención, caracterización y actividad antioxidante de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón estero y camarón de altamar” [46].

#### Figura 13

*Trituración, molienda y tamizado de la concha de Choro*



## Figura 14

### *Reacción de desacetilación heterogénea*



### **Tercera Etapa. Caracterización fisicoquímica del Quitosano extraído**

Se procedió a la caracterización del quitosano obtenido, para lo cual se determinó el % Grado de des acetilación usando el método potenciométrico.

### **Cuarta Etapa. Preparación de las dosis de coagulantes**

Se prepararon cuatro soluciones. Para cada solución del coagulante natural se pesaron 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 g y se disolvió en un litro de agua destilada, siendo las concentraciones de 100, 200, 300 y 400 mg/L.

### **Quinta etapa. Simulación del proceso de coagulación y floculación**

Se llevó a cabo el proceso de coagulación y floculación mediante el equipo prueba de jarras (JLT4, VELP SCIENTIFICA). Para ello, se tomaron cuatro vasos de precipitado en los cuales se vertieron 1000 ml de agua objeto de estudio, en cada vaso se agregó el coagulante natural con las siguientes concentraciones 100,200,300,400 mg/L y se trabajó a pH 6, 7, 8. Luego se sometieron a una agitación rápida a 150 rpm durante 1 minuto, posterior una agitación lenta a 40 rpm durante 20 minutos; transcurrido este tiempo; se dejó sedimentar durante 15

minutos. Finalmente, se extrajo una alícuota de 10 mL de agua clarificada de cada vaso y se determinó la turbidez final utilizando un turbidímetro. Ver figuras 15, 16 y 17 pág. 39.

### Determinación del porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción (%R) se determinó mediante comparación de sus mediciones antes y después para cada prueba experimental, utilizando la siguiente ecuación 1, tomando los datos de la tabla 4.

$$\%R = \frac{t_i - t_f}{t_i} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$t_i$ : turbidez inicial del agua (NTU)

$t_f$ : turbidez final del agua (NTU)

### Figura 15

*Proceso de coagulación pH= 6 a 100, 200, 300 y 400 ppm*



**Figura 16**

*Resultado final del proceso de coagulación y floculación a pH 6*



**Figura 17**

Medición de la turbidez final obtenida



### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

La población estaba conformada por agua proveniente de la cuenca baja del río Chillón distrito de Los Olivos, provincia y departamento de Lima.

#### **4.3.2. Muestra**

La muestra obtenida del agua proveniente de la cuenca baja del río Chillón en el distrito de Los Olivos, se tomaron de un solo punto y el modo de muestreo es de acuerdo a la normativa de protocolo de monitoreo de la calidad de agua de los recursos hídricos. El volumen de agua recolectado fue de 40 litros y se depositó en dos recipientes de plástico con capacidad de 20 litros.

#### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado**

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao y el laboratorio de Soluciones Químicas Ambientales SAC - SQA PERÚ.

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

La técnica que se utilizó en la investigación fue la observación.

Para el desarrollo experimental se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

##### **4.5.3 Instrumentos**

- ✓ Turbidez (Equipo Turbidímetro Hach DR 900)
- ✓ SST y conductividad (Equipo multiparámetro Hach HQ40d)
- ✓ pH y temperatura (Equipo Hanna HI98190)
- ✓ Equipo de test de jarras, (Equipo floculador, modelo Fratelli Alli)

##### **4.5.2 Materiales de laboratorio**

- ✓ 2 galoneras de 20 L, baguetas, 4 vasos precipitados de 1L, jarra de 1L, jeringas, pisetas.

##### **4.5.3 Reactivos**

- ✓ HCl 0.1 N y NaOH 0.1 M

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

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software MINITAB 19, así mismo se ha usado el software Microsoft Excel 2019 para la recolección de la data y gráficas preliminares ver anexo III pág. 72 y 73.

#### **4.7. Aspectos Éticos en Investigación**

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información que se emitirá como resultado de este proyecto de investigación.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Resultados de las características Físicoquímicas del agua río Chillón

En la tabla 5 se muestran los valores promedios de características físicoquímicas del agua extraída de la cuenca baja del río Chillón.

**Tabla 5**

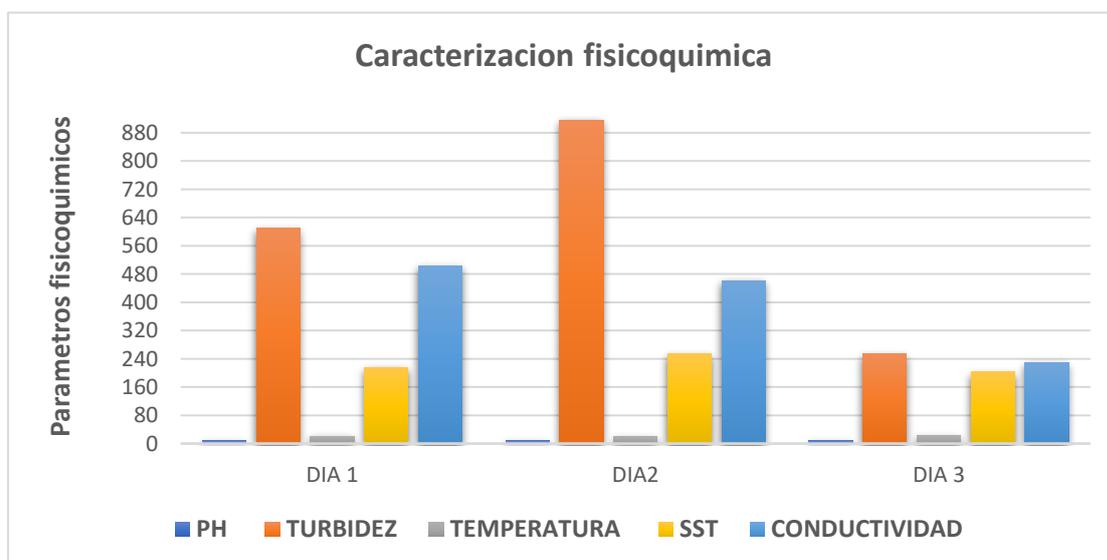
*Resultados de la caracterización físicoquímica inicial del río Chillón*

| Tiempo          | pH   | Turbidez<br>NTU | Temperatura<br>°C | SST<br>mg/L | Conductividad<br>uS/cm |
|-----------------|------|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|
| Día 1           | 7.68 | 610             | 21                | 216         | 503                    |
| Día 2           | 7.47 | 916             | 20                | 253         | 461                    |
| Día 3           | 7.96 | 253             | 22                | 203         | 230                    |
| <b>Promedio</b> | 7.70 | 593             | 21                | 224         | 398                    |

En la figura 18, se muestran las características físicoquímicas de las muestras, de acuerdo con el 1er, 2do y 3er día respectivamente.

**Figura 18**

*Características físicoquímicas del río Chillón*



### **5.1.2. Resultados experimentales del tratamiento en el Jar Test**

En la tabla 6 pág. 44 se muestra las corridas experimentales realizadas en el equipo Jar Test; en donde se muestra el porcentaje de reducción de la turbidez, utilizando el quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural.

**Tabla 6***Resultados de la matriz experimental de los diferentes tratamientos*

| NUMERO<br>EXPERIMENTOS | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub>         | % REMOCION DE LA TURBIDEZ |        |        |                       | % REMOCION DE SST |        |        |                  |
|------------------------|----------------|------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------------------|-------------------|--------|--------|------------------|
|                        | PH             | CONCENTRACION<br>(ppm) | R1                        | R2     | R3     | %TURBIDEZ<br>PROMEDIO | R1                | R2     | R3     | %SST<br>PROMEDIO |
| <b>1</b>               | 6              | 100                    | 71.15%                    | 71.25% | 71.28% | 71.23%                | 52.66%            | 55.33% | 56.12% | 54.70%           |
| <b>2</b>               | 6              | 200                    | 71.46%                    | 71.59% | 71.47% | 71.50%                | 59.55%            | 56.25% | 58.04% | 57.95%           |
| <b>3</b>               | 6              | 300                    | 71.30%                    | 71.37% | 71.32% | 71.33%                | 49.55%            | 46.03% | 47.99% | 47.86%           |
| <b>4</b>               | 6              | 400                    | 71.89%                    | 71.91% | 71.83% | 71.87%                | 58.27%            | 58.19% | 59.05% | 58.50%           |
| <b>5</b>               | 7              | 100                    | 70.96%                    | 71.20% | 71.32% | 71.16%                | 58.30%            | 57.68% | 59.20% | 58.39%           |
| <b>6</b>               | 7              | 200                    | 71.86%                    | 71.55% | 71.67% | 71.69%                | 58.11%            | 59.18% | 57.29% | 58.19%           |
| <b>7</b>               | 7              | 300                    | 71.25%                    | 71.25% | 71.32% | 71.27%                | 47.90%            | 47.19% | 50.00% | 48.36%           |
| <b>8</b>               | 7              | 400                    | 71.16%                    | 71.21% | 71.15% | 71.17%                | 40.22%            | 47.19% | 39.15% | 42.19%           |
| <b>9</b>               | 8              | 100                    | 68.75%                    | 69.59% | 69.80% | 69.38%                | 59.82%            | 50.45% | 51.34% | 53.87%           |
| <b>10</b>              | 8              | 200                    | 68.95%                    | 68.94% | 69.01% | 68.97%                | 44.82%            | 44.15% | 43.39% | 44.12%           |
| <b>11</b>              | 8              | 300                    | 69.60%                    | 70.20% | 69.23% | 69.68%                | 46.07%            | 47.59% | 45.71% | 46.46%           |
| <b>12</b>              | 8              | 400                    | 69.88%                    | 69.90% | 69.85% | 69.88%                | 35.31%            | 37.46% | 36.29% | 36.36%           |

## 5.2. Resultados inferenciales

### 5.2.1. % Remoción de la turbidez

La tabla 7 presenta el análisis de varianza (ANOVA) el cual permite conocer la influencia de los factores como pH, concentración de coagulante y la interacción de estos factores sobre la variable respuesta, con una confiabilidad del 95%; teniendo en cuenta el valor  $p < 0.05$ , indicando que existe una influencia de este factor.

**Tabla 7**

*Análisis de varianza (ANOVA) para la turbidez*

| Fuente                         | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|--------------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo                         | 11 | 0.002818  | 0.000256  | 1340.14 | 0.00    |
| Lineal                         | 5  | 0.002621  | 0.000524  | 2742.47 | 0.00    |
| pH                             | 2  | 0.00261   | 0.001305  | 6826    | 0.00    |
| Concentración de coagulante    | 3  | 0.000012  | 0.000004  | 20.13   | 0.00    |
| Interacciones de 2 términos    | 6  | 0.000197  | 0.000033  | 171.52  | 0.00    |
| pH*Concentración de coagulante | 6  | 0.000197  | 0.000033  | 171.52  | 0.00    |
| Error                          | 24 | 0.000005  | 0.0000000 |         |         |
| Total                          | 35 | 0.002823  |           |         |         |

Los factores como la concentración de coagulante natural, pH y la interacción de estos factores, tienen un valor  $p = 0$  indicando que existe una influencia en la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón.

De la tabla 8 pág. 46 se obtiene la ecuación que describe la eficiencia del quitosano en la reducción de la turbidez del río Chillón.

$$y = 0.7755 - 0.0100x_1 + 1.02999 * 10^{-5}x_2 \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$x_1$  = pH del agua

$x_2$  = Concentración de coagulante natural (mg/L)

$y$  = % de Reducción de la turbidez

**Tabla 8***Análisis de coeficientes de regresión múltiple de la turbidez*

|                               | <b>Coeficientes</b> | <b>Error típico</b> | <b>Estadístico t</b> |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Intercepción</b>           | 0.775520859         | 0.008193426         | 94.65159931          |
| <b>Variable X<sub>1</sub></b> | -0.010049508        | 0.001125454         | -8.929295895         |
| <b>Variable X<sub>2</sub></b> | 1.02999E-05         | 8.21915E-06         | 1.253163966          |

En la tabla 9 muestra el resumen del modelo donde  $R^2 = 0.804078$  este valor nos indica que hay una precisión aceptable del modelo, para representar los datos observados.

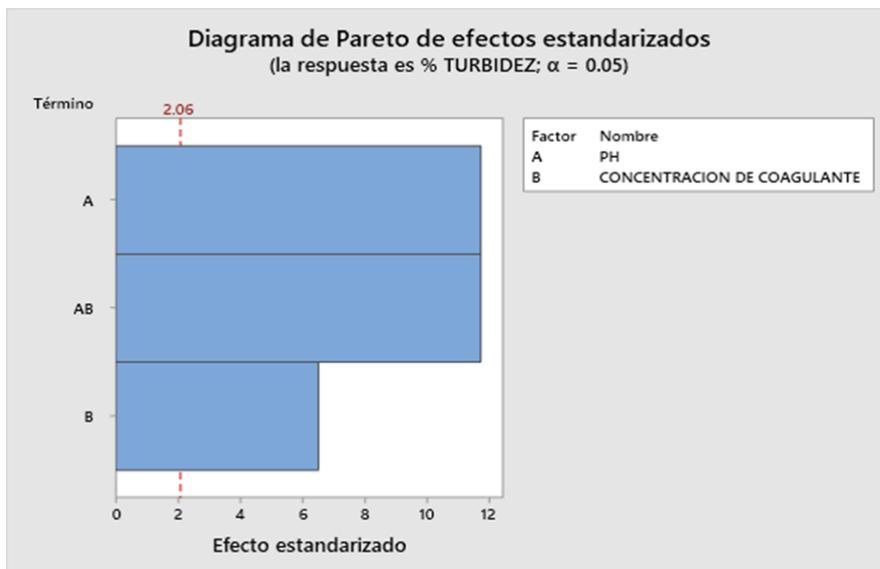
**Tabla 9***Resumen del modelo*

| <b>Estadísticas de la regresión</b> |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Coeficiente de correlación múltiple | 0.849110239 |
| Coeficiente de determinación $R^2$  | 0.820988198 |
| $R^2$ ajustado                      | 0.804078392 |
| Error típico                        | 0.004885175 |
| Observaciones                       | 36          |

En el diagrama de Pareto de la figura 19 pág. 47, las barras que representa A, B y AB cruzan la línea de referencia que está en 2.06 esto significa que los factores son estadísticamente significativos en el nivel de 0.05 con los términos actuales del modelo.

**Figura 19**

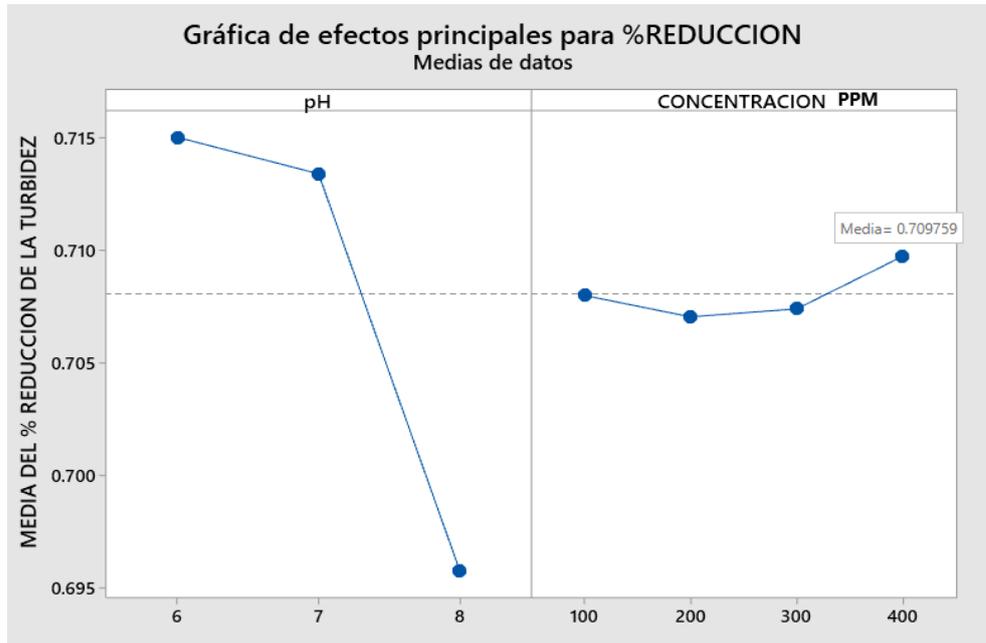
*Diagrama de Pareto de efectos estandarizados*



De la figura 20 pág. 48 se observa la gráfica de efectos principales del pH, donde la media del % reducción entre pH 6 y pH 7 presentan valores cercanos; sin embargo, a pH 8 se muestra una disminución significativa en el % de reducción de la turbidez del agua. Respecto a la concentración de coagulante se observa que a 200 ppm y 300 ppm el % de reducción de la turbidez 70.64% y 70.70%, respectivamente; mientras que a la concentración de 400 ppm se obtiene una media de % de reducción de 70.97%, mostrando que no hay un cambio significativo el porcentaje de reducción a diferentes dosis de coagulante.

**Figura 20**

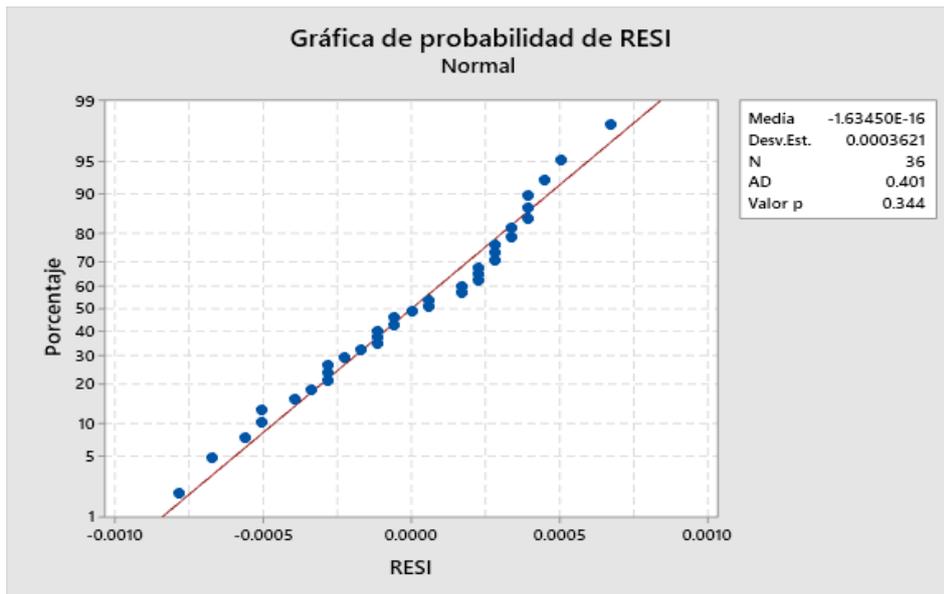
*Gráfica de efectos principales para % reducción de la turbidez*



De la figura 21, se muestra que el valor  $p = 0.344$ , por lo que se verifica que los residuos obtenidos muestran una distribución normal.

**Figura 21**

*Gráfica de probabilidad de residuos*



### 5.2.2. % Remoción de SST

La tabla 10 presenta el análisis de varianza (ANOVA) el cual permite conocer la influencia de los factores como pH, concentración de coagulante y la interacción de estos factores sobre la variable respuesta, con una confiabilidad del 95%; teniendo en cuenta el valor  $p < 0.05$ , indicando que existe una influencia de este factor.

**Tabla 10**

*Análisis de varianza (ANOVA) para sólidos suspendidos totales*

|           | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | P           | Valor crítico p |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------|-------------|-----------------|
| Regresión | 2                  | 0.288063685       | 0.144031843               | 114.0827482 | 1.50096E-15     |
| Residuos  | 33                 | 0.041663186       | 0.001262521               |             |                 |
| Total     | 35                 | 0.329726871       |                           |             |                 |

Los factores como la concentración de coagulante natural, pH y la interacción de estos factores, tienen un valor  $p = 0$  indicando que existe una influencia en la remoción de los sólidos suspendidos totales del agua proveniente del río Chillón.

De la tabla 11 pág. 50 se obtiene la ecuación que describe la eficiencia del quitosano en la reducción de la turbidez del río Chillón.

$$y = 0.97931 - 0.041439x_1 - 7.40645 * 10^{-4}x_2 \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

$x_1$  = pH del agua

$x_2$  = Concentración de coagulante natural (mg/L)

$y$  = % de remoción de SST

**Tabla 11***Análisis de coeficientes de regresión múltiple para SST*

|                               | <b>Coeficientes</b> | <b>Error típico</b> | <b>Estadístico t</b> |
|-------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Intercepción</b>           | 0.979309276         | 0.052802147         | 18.54676987          |
| <b>Variable X<sub>1</sub></b> | -0.041439732        | 0.007252933         | -5.713513916         |
| <b>Variable X<sub>2</sub></b> | -0.000740645        | 5.29679E-05         | -13.98289151         |

En la tabla 12 muestra el resumen del modelo donde  $R^2 = 0.87364$  este valor nos indica que hay una precisión aceptable del modelo, para representar los datos observados.

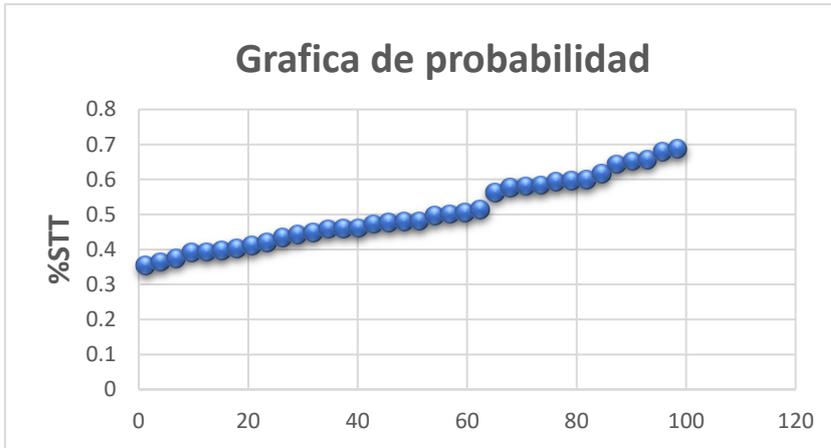
**Tabla 12***Resumen del modelo*

| <b>Estadísticas de la regresión</b> |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Coeficiente de correlación múltiple | 0.9346889   |
| Coeficiente de determinación $R^2$  | 0.873643339 |
| $R^2$ ajustado                      | 0.86598536  |
| Error típico                        | 0.035531969 |
| Observaciones                       | 36          |

De la figura 22 pág. 51, se puede mencionar que los datos experimentales presentan una distribución normal

**Figura 22**

*Gráfica de probabilidad del % SST*



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

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

#### 6.1.1. *Contrastación con la hipótesis general*

La hipótesis general planteada en la investigación sobre la eficiencia del quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural; propuso una eficiencia en la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón del 75%; sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 6 de la matriz experimental se alcanza una eficiencia en la reducción de la turbidez 71.85%; siendo este valor menor a la hipótesis general planteada en la investigación.

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

##### **Hipótesis específica 1**

Los parámetros fisicoquímicos más relevantes del agua proveniente del río Chillón serán: pH, turbidez, sólidos suspendidos totales.

Ho: No es posible determinar los parámetros fisicoquímicos más relevantes del agua proveniente del río Chillón como: pH, turbidez, sólidos suspendidos totales.

Ha: Es posible determinar los parámetros fisicoquímicos más relevantes del agua proveniente del río Chillón como: pH, turbidez, sólidos suspendidos totales

En la tabla 5 se muestran los parámetros fisicoquímicos más relevantes del agua proveniente del río Chillón, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna.

## **Hipótesis específica 2**

La concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (quitosano) para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río chillón será 100 mg/L

Ho: La concentración del coagulante natural extraído del choro (quitosano) más adecuada de 100 ppm, NO tiene un efecto significativo para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón

Ha: La concentración del coagulante natural extraído del choro (quitosano) más adecuada de 100 ppm, tiene un efecto significativo para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón

Según el análisis de ANOVA se ha obtenido un valor p igual a 0 para la concentración del coagulante natural. Tomando en cuenta que el valor p es menor que 0.05; se rechaza la hipótesis nula (Ho), por consiguiente, la concentración de coagulante influye significativamente sobre el porcentaje de reducción de la turbidez.

### **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

La eficiencia del quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural en la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón; demostró una reducción en la turbidez de 71.85%, a una concentración de 400 mg/l a pH 6.0; para una turbidez inicial de 593.0 NTU.

Estos resultados tienen una semejanza con lo hallado en la investigación de Julio, A., et al (2019), compararon la eficiencia de la médula de banano como coagulante natural con respecto al sulfato de aluminio. En esta investigación utilizaron dosis de 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/l, donde simularon el proceso de clarificación mediante la prueba de jarras, usando muestras del agua del río Magdalena en Barranquilla, Colombia. Concluyeron, que el coagulante natural reduce la turbidez inicial del agua del río (210 UNT) en un 67,57% a pH de 6.5-8.5; sin embargo, Leones, M., et al (2018) realizaron un muestreo simple del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico, mediante el equipo jar test, lograron

una disminución de la turbidez en un 64% utilizando las semillas de Moringa oleífera con una dosis 750 mg/l a un rango de pH 6.5-8.

Por otro lado, Daviran, J (2021). Determinó la eficiencia de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) para mejorar las características del agua del río Chillón, con una remoción de la turbidez de hasta 91,2%.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información que se emitirá como resultado de este proyecto de investigación.

Respetando el código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado con resolución N°260-2019-CU.

## VII. CONCLUSIONES

- El coagulante natural extraído del choro (*aulacomya atra molina*) presentó una eficiencia en la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón de 71.85 %, por lo que se concluye que tiene poca efectividad en la remoción de la turbidez
- Se determinó las características fisicoquímicas más relevantes del agua proveniente de río Chillón las cuales arrojaron los siguientes resultados: temperatura 21°C, pH 7.70, Turbidez 593 NTU, SST 224 mg/L y una conductividad de 398 uS/cm; mostrando que los SST están por encima de la norma establecida en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, para la conservación del ambiente acuático.
- Se concluye que la concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (*aulacomya atra molina*) en la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón fue 400 mg/L, para una turbidez inicial de 593 NTU.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar valores de pH más extremos como pH 4, 7, 10, para determinar la concentración más adecuada en la remoción de la turbidez del río.
- Se recomienda seguir realizando alternativas de coagulantes naturales que disminuyan el grado de contaminación de los coagulantes inorgánicos que existen actualmente en el mercado, y de preferencia que sean de residuos para empezar a tener conciencia de reciclaje.
- Se recomienda usar un floculante orgánico para que pueda ayudar en el proceso de sedimentación.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Agua para consumo humano [en línea]. Organización Mundial de la Salud, 21 de marzo de 2022 [fecha de consulta: 10 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#>
- [2] ALVAREZ, J. Tratamiento de las aguas superficiales mediante el uso de semilla Moringa (*Moringa Oleífera*) como coagulante orgánico en la cuenca baja del río Chillón. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2017. 98 pp. [fecha de consulta: 23 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/16592>
- [3] REYES, C. Estudio de la contaminación de las aguas del río Chillón. Tesis (Magíster en Ciencias con mención en Minería y Medio Ambiente). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012, 297 pp. [fecha de consulta: 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/1082>
- [4] AGUIRRE, S., PIRANEQUE, N. y CRUZ, R. Sustancias Naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información tecnológica* [en línea]. Junio, 2018, 29(3), 59-70 [fecha de consulta: 20 de noviembre de 2022]. ISSN: 0718-0764. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>
- [5] ANTOV, G., et al. Common oak (*Quercus robur*) acorn as a source of natural coagulants for water turbidity removal. *Industrial Crops and Products* [en línea]. Julio, 2018, 14, 340-346 [fecha de consulta: 26 de octubre de 2022]. ISSN: 0926-6690. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.022>
- [6] OKOLO, B., et al. Coagulation kinetic study and optimization using response surface methodology for effective removal of turbidity from paint wastewater using natural coagulants. *Scientific African* [en línea]. Noviembre, 2021, 14, [fecha de consulta: 03 de octubre de 2022]. ISSN: 2468-2276. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00959>

- [7] AGBOVI, H. y L. WILSON. Flocculation Optimization of Orthophosphate with FeCl<sub>3</sub> and Alginate Using the Box-Behnken Response Surface Methodology. *Industrial and Engineering Chemistry Research* [en línea]. Marzo, 2017, 56(12), 3145-3155 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. ISSN: 1520-5045. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b04765>
- [8] SEGHOSSIME, A., et al. Comparative Studies on Proximate Composition and Phytochemical Screening of Mango, Key lime, African star apple and African pear Seeds as Possible Coagulant Aids for Water Treatment. *American Journal of Environmental Sciences* [en línea]. Agosto, 2017, 13(4), 325-333 [fecha de consulta: 19 de octubre de 2022]. ISSN: 1558-3910. Disponible en: <https://doi.org/10.3844/ajessp.2017.325.333>
- [9] DE SOUZA, M., et al. The use of a natural coagulant (*Opuntia ficus-indica*) in the removal for organic materials of textile effluents. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea]. Mayo, 2014, 186(8), 5261-5271 [fecha de consulta: 17 de octubre de 2022]. ISSN: 1573-2959. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3775-9>
- [10] OLADOJA, N., et al. A new indigenous green option for turbidity removal from aqueous system. *Separation and Purification Technology* [en línea]. Octubre, 2017, 186, 166-174 [fecha de consulta: 20 de octubre de 2022]. ISSN: 1383-5866. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.05.054>
- [11] LEONES, M., et al. Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías* [en línea]. Junio, 2018, 17(2), 95-104 [fecha de consulta: 09 de noviembre de 2022]. ISSN: 1657-4583. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- [12] JULIO, A., et al. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías* [en línea]. Agosto, 2019, 18(4), 131-138 [fecha de consulta: 17 de noviembre de 2022]. ISSN: 1657-4583. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>

- [13] SALGADO, María. Evaluación de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la remoción de turbidez de aguas superficiales. Tesis (Título de Ingeniero Agroindustrial). Sincelejo: Universidad de Sucre, 2018. 70 pp. [fecha de consulta: 10 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/642>
- [14] CARRASQUERO-FERRER, S., et al. Eficiencia del quitosano como coagulante en el postratamiento de efluentes de una planta de sacrificio de cerdos. *Orinoquia* [en línea]. Diciembre, 2019, 23(2), 36-46 [fecha de consulta: 10 de diciembre de 2022]. ISSN: 2011-2629. Disponible en: <https://doi.org/10.22579/20112629.567>
- [15] HURTADO, J. y E. YARLEQUE. Determinación de la capacidad clarificadora del coagulante natural extraído de la papa (*solanum tuberosum*) en la purificación del agua del río Patari para uso de consumo humano. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Lima: Universidad Nacional del Callao, 2017. 118 pp. [fecha de consulta: 10 de enero de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3822>
- [16] DAVIRAN, J. Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) como coagulante natural en las aguas del Río Chillón. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2021. 89 pp. [fecha de consulta: 15 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6368>
- [17] MONTENEGRO, I. Remoción de turbidez del agua utilizando cono de pino como coagulante natural, Tarapoto - San Martín. Tesis (Título de Ingeniería Química). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2021. 57 pp. [fecha de consulta: 13 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9830>
- [18] RUBIO, D. y J. SARAVIA. Optimización en la remoción de turbidez mediante prueba de jarras empleando quitosano a partir de las escamas del *Trachurus Murphyi*. Bachiller (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad

Peruana Unión, 2020. 15 pp. [fecha de consulta: 25 de noviembre de 2022].  
Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3191>

- [19] GONZALES, I. *Estado de la pesquería del recurso Choro (Aulacomya Atrina Molina 1872)* [en línea]. 14 de mayo de 2018 [consultado el 7 de abril de 2023].  
Disponible en: [http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/descarga\\_informe.php?archivo=63](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/descarga_informe.php?archivo=63)
- [20] Práctico: estudio y disección de un mejillón. *Biología punto.com* [en línea]. 15 de octubre de 2012 [consultado el 8 de abril de 2023]. Disponible en: [http://biologiapuntocom.blogspot.com/2012/10/practico-estudio-y-diseccion-de-un\\_15.html](http://biologiapuntocom.blogspot.com/2012/10/practico-estudio-y-diseccion-de-un_15.html)
- [21] AQUAMARKET. Turbidez [fecha de consulta: 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2269>
- [22] GUEVARA – PEREZ, E. *Métodos para el análisis de variables hidrológicas y ambientales* [en línea]. Lima, ANA, 2015 [fecha de consulta: 15 de enero de 2023], ISBN :978-612-4273-01-8. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3940/ANA0002522.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [23] SÁNCHEZ, A. *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. México: S y G editores, 2011, pp. 269. ISBN 978-607-7552-07-9.
- [24] Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). Estudio integral de los recursos hídricos de la cuenca del río Chillón componente hidrología superficial. 2003 [fecha de consulta: 3 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3026>
- [25] OLARTE, B. La cuenca del río Chillón: Problemática y potencial productivo. *Ingeniería Industrial* [en línea]. 2007, 25, 53-68 [fecha de consulta: 20 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337460076003.pdf>

- [26] MALDONADO, A. Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín”. Tesis (Título de Ingeniero Sanitario). Moyobamba: Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, 2018. 7 pp. 91 [ fecha de consulta: 19 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11458/2683>
- [27] CAMPOS, I. *Saneamiento Ambiental* [en línea]. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, EUNED, 2003, pp. 67 [fecha de consulta: 19 de marzo de 2023]. Capítulo 3. Tratamiento del agua potable. ISBN: 9968-31-069-7. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=lsgrGBGIGeMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [28] WHO guidelines for drinking water quality: training pack – Session 12, Water Treatment. Geneva (Switzerland): World Health Organization (WHO),2000, pp. 216-234. [fecha de consulta: 19 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/66218/a68673.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [29] GOZÁLVEZ, J. Fabricación de membranas de acetato de celulosa aptas para ósmosis inversa y nanofiltración mediante el método de inversión de fase. Tesis [Doctor en Ingeniería Química y Nuclear]. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 1998. 373 pp. [fecha de consulta: 08 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/4281>
- [30] MANAHAN, S. *Introducción a la Química Ambiental* [en línea]. México: Reverté Ediciones, 2007, pp. 220 [fecha de consulta: 08 de marzo de 2023]. Capítulo 5. Tratamiento del agua. ISBN: 968670860X. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=5NR8DIk1n68C&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [31] Raj, C. y G. Basavaraj. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering* [en línea]. 6.<sup>a</sup> ed. Washington D.C: Butterworth-Heinemann, 2019, pp. 555-625 [fecha de consulta: 25 de marzo de 2023]. Chapter 10. Liquid Filtration. ISBN

9780081010983.

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081010983000111>

- [32] MÉNDEZ, F. *Los procesos industriales y el medio ambiente: un nuevo paradigma* [en línea]. 2°. Ed. Colombia: Universidad de Ibagué, 2011, pp. 217 [fecha de consulta: 18 de marzo de 2023]. Capítulo 5. Disponible en: <https://e-libro.net/libros/libro.aspx?idlibro=28385>
- [33] El agua potable [sitio web]. (1 de febrero de 2023) [fecha de consulta: 09 de marzo de 2023]. Disponible en: [http://www.elaguapotable.com/tratamiento\\_de\\_lodos.htm](http://www.elaguapotable.com/tratamiento_de_lodos.htm)
- [34] CÁRDENAS, J. *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales* [en línea]. 2°. Ed. Bogotá: ECOE Ediciones, 2022, pp. 314 [fecha de consulta: 17 de marzo de 2023]. Capítulo 19. ISBN: 978-958-503-272-9. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=L2NtEAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [35] LORENZO, Y. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [en línea]. 2006, **XL** (2), 10-17 [fecha de consulta: 20 de marzo de 2023]. ISSN: 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- [36] CALVO, R. Implementación de un Proceso de Electrocoagulación para el Tratamiento y Recuperación de Efluente Textil en la Empresa Cotton Knit SAC. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2017. 22 pp. [fecha de consulta: 12 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/5938>
- [37] Coagulación y floculación: definición, tipos y factores [blog]. Colombia: Fibras y Normas de Colombia S.A.S. Ingeniería en aguas. (2023) [fecha de consulta: 09 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/coagulacion-floculacion-definicion/>
- [38] YNOFUENTE, L. y FLORES, M. Uso de coagulantes naturales como alternativas de reducción de la turbidez. Una revisión. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental).

Juliaca: Universidad Peruana Unión, 2020. 4-6 pp. [fecha de consulta: 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3297>

- [39] CASTRO, N. y VIDAL, C. Obtención y caracterización de quitina y quitosano del emerita análoga a escala piloto. *Tzhoecoen*. Octubre, 2015, 7(2), 185-186. ISSN: 1997-3985.
- [40] GARCÍA, T. y ROCA, J. Industrialización de los crustáceos para la obtención de Quitosano en ungüento con efecto cicatrizante. *Industrial Data* [en línea]. Julio-diciembre, 2008, 11(2), 24-32 [fecha de consulta: 9 de marzo de 2023]. ISSN: 1560-9146. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619829004>
- [41] CASTELLANOS, F. Revisión del uso de coagulantes naturales en el proceso de clarificación del agua en Colombia (Especialización de Planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales). Colombia: Universidad Militar Nueva Granada, 2017. 74 pp. [fecha de consulta: 17 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/17102>
- [42] Mascarós, J. Estudio de la eliminación físico químico de la turbidez en un agua residual de una industria cárnica. [en línea]. España: Universidad politécnica de valencia. 2013 [fecha de consulta: 15 de enero 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27574/TRABAJO%20FINAL%20DE%20MASTER%20%28ok%29.pdf?sequen>
- [43] RUBIO, D. y Saravia, J. Optimización en la remoción de turbidez mediante prueba de jarras empleando Quitosano a partir de las escamas del *Trachurus Murphyi*. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Peruana Unión, 2020, 8 pp. [fecha de consulta: 18 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3191>
- [44] FERIA, J., MERCADO, T. y JOVE, F. Uso del quitosano como coagulante natural en el tratamiento de aguas: una breve revisión. *Revista Espacios* [en línea]. Agosto, 2020. 41(32). [fecha de consulta: 08 de marzo de 2023]. ISSN: 0798-1015 Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n32/20413210.html>

- [45] ARIAS, S. Obtención de clorhidrato de glucosamina a partir de quitina. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Managua: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014. 17 pp. [fecha de consulta: 17 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250142729.pdf>
- [46] ROMERO, A. y PEREIRA, J. Estado del arte: Quitosano, un biomaterial versátil. Estado del Arte desde su obtención a sus múltiples aplicaciones. *Revista Ingeniería UC* [en línea]. Mayo-julio, 2020, **27**(2), 118-135 [fecha de consulta: 17 de marzo de 2023]. ISSN: 1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70764230002>
- [47] ARAGUNDE, H. Ingeniería enzimática de quitina desacetilasas y glicosintasas como biocatalizadores: diseño racional de la especificidad y evolución dirigida. Tesis (Doctor en Bioingeniería). España: Universitat Ramon Llull, 2017. 74 pp. [fecha de consulta: 17 de marzo de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/416597>
- [48] Martínez, L .et.al. Estudio comparativo de obtención, caracterización y actividad antioxidante de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón estero y camarón de altamar. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimento* [en línea] 2019, (4), 1003-1005 [fecha de consulta: 10 de enero 2023]. ISSN: 2448-7503. Disponible en: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/10/143.pdf>
- [49] INDUANALISIS Laboratorio Ambiental. Agua subterránea y superficial. 2019 [fecha de consulta: 15 de marzo de 2023]. Disponible en: [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/agua\\_subterranas\\_y\\_superficial\\_29](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/agua_subterranas_y_superficial_29)
- [50] BANCHON, C. et al. Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE* [en línea]. Octubre-diciembre, 2016, 7(4), 111-126 [fecha de consulta: 15 de marzo de 2023]. ISSN 1390-9363. Disponible en: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422016000400111&lang=es](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422016000400111&lang=es)

- [51] GARCÍA, C. Obtención de quitosano a partir de exoesqueleto de langostino blanco (*Litopenaeus Vannamei*), para el tratamiento de efluentes industriales. Tesis (Título de Ingeniero Agroindustrial y Comercio Exterior). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2017. 20, pp. [fecha de consulta: 16 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4085>
- [52] SISTEMA de Información del Medio Ambiente. Sólidos totales en suspensión (SST). Bogotá D.C.: Laboratorio de Calidad Ambiental, 2007 [fecha de consulta: 16 de marzo de 2023]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos\\_suspension.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf)
- [53] GUEVARA – PEREZ, E. *Métodos para el análisis de variables hidrológicas y ambientales* [en línea]. Lima, ANA, 2015 [fecha de consulta: 15 de enero de 2023], ISBN:978-612-4273-01-8. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3940/ANA0002522.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [54] ACEVEDO, E. Uso de semillas de moringa (moringa oleífera) como floculante natural para la purificación de aguas crudas de Rio Negro, Rio de Oro y Quebrada Floridablanca, Santander. Tesis (Título de Microbiólogo Industrial). Bucaramanga: Universidad de Santander, 2019. 10pp. [fecha de consulta: 20 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/1050>
- [55] BOSS Tech. ¿Cómo se controla la separación de sólidos en el tratamiento primario de aguas residuales? 2021. [fecha de consulta: 18 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://bosstech.pe/separacion-solidos-tratamiento-aguas-residuales/>
- [56] DICCIONARIO Panhispánico de Dudas [en línea]. Madrid: Real Academia Española, 2022 [fecha de consulta: 20 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://dle.rae.es/eficiencia?m=form>

- [57] Ciencia Sfera [en línea]. Lima, 2013 [fecha de consulta: 20 de marzo de 2023].  
Disponible en:  
[https://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno01/tema09/21\\_propiedades\\_fsico\\_qmicas.html#:~:text=Propiedades%20fisicoqu%C3%ADmicas,el%20ataque%20de%20productos%20qu%C3%ADmicos\\_](https://www.cienciasfera.com/materiales/tecnologia/tecno01/tema09/21_propiedades_fsico_qmicas.html#:~:text=Propiedades%20fisicoqu%C3%ADmicas,el%20ataque%20de%20productos%20qu%C3%ADmicos_)
- [58] DICCIONARIO Panhispánico de Dudas [en línea]. Madrid: Real Academia Española, 2022 [fecha de consulta: 20 de marzo de 2023]. Disponible en:  
<https://dle.rae.es/concentraci%C3%B3n?m=form>
- [59] HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M. Metodología de la Investigación. 6.<sup>a</sup> ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2014. 600 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-

## ANEXOS

## ANEXO I: MATRIZ CONSISTENCIA

Eficiencia del quitosano extraído del choro (*aulacomya atra molina*) como coagulante natural para la reducción de la turbidez del agua proveniente del río Chillón

| Problema   | Objetivo   | Hipótesis  | Variable   | Dimensiones                       | Indicadores   | Método        |
|--|--|--|--|-----------------------------------|---|---------------|
| <b>General</b>   | <b>General</b>   | <b>General</b>   | <b>Dependiente</b>   |                                   |   |               |
| ¿Cómo determinar la eficiencia del quitosano extraído del choro ( <i>aulacomya atra molina</i> ) como coagulante natural para la reducción de la turbidez de agua proveniente del río Chillón? | Determinar la eficiencia del quitosano extraído del choro ( <i>aulacomya atra molina</i> ) como coagulante natural para la reducción de la turbidez de agua proveniente del río Chillón. | La eficiencia del quitosano extraído del choro ( <i>aulacomya atra molina</i> ) como coagulante natural para la reducción de la turbidez de agua proveniente del río Chillón será del 75%. | Eficiencia del quitosano extraído del choro                                      | Reducción de la turbidez          | % reducción de la turbidez                            | Calculo       |
| <b>Específicos</b>   | <b>Específicos</b>   | <b>Específicos</b>   | <b>Independiente</b>   |                                   |   |               |
| ¿Cuáles son los parámetros de análisis fisicoquímicos más relevantes del agua proveniente del río Chillón?   | Determinar las características fisicoquímicas más relevantes del agua proveniente del río Chillón  | Las características fisicoquímicas más relevantes del agua proveniente del río Chillón serán: pH, turbidez, SST, conductividad, temperatura  | Características fisicoquímicas del agua del río Chillón que conforman la muestra | Características fisicoquímicas    | Turbidez<br>pH<br>SST<br>Conductividad<br>Temperatura | Instrumental  |
| ¿Cuál es la concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (quitosano) para la reducción de la turbidez de agua proveniente del río Chillón?                             | Determinar la concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (quitosano) para la reducción de la turbidez de agua proveniente del río Chillón.                     | La concentración más adecuada del coagulante natural extraído del choro (quitosano) para la reducción de la turbidez del agua del río Chillón será 100 mg/l                                | Concentración del coagulante natural extraído del choro (quitosano)              | Concentración de Coagulante<br>pH | 100, 200, 300,<br>400 mg/L<br>6, 7, 8                 | Observacional |

# ANEXO II. CERTIFICADOS DE CALIBRACION DE LOS EQUIPOS



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 004-2023

**SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC**

**Solicitante: SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC**

**Dirección: Simon Bolívar**

**Expediente:**

**Instrumento de medición: Medidor Multiparámetro**

**DATOS DEL INDICADOR**

**Marca: HACH**

**Modelo: HQ11D**

**Serie: 15030001**

**Intervalo de mediciones: 0 a 14 pH**

**DATOS DEL ELECTRODO**

**Marca: HACH**

**Modelo: PHC101**

**Serie: 151112568015**

**Procedencia: USA**

**Fecha de Calibración: 17/03/2023**

**Lugar de calibración:**

**Instalaciones del Laboratorio de Metrología de SQA.**

**CONDICIONES AMBIENTALES**

|                            |                  |
|----------------------------|------------------|
| <b>Temperatura</b>         | <b>23.5 °C</b>   |
| <b>Humedad Relativa</b>    | <b>73%</b>       |
| <b>Presión Atmosférica</b> | <b>1001 mbar</b> |

**PATRONES DE REFERENCIA**

**Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a la NIST / IUPAC**

**N° de lote**

**Material de referencia certificado Marca ROCKER Ph 4.01 @25°C**

**210824**

**Material de referencia certificado Marca ROCKER Ph 7.00 @25°C**

**210827**

**Material de referencia certificado Marca ROCKER Ph 10.01 @25°C**

**210951**

**RESULTADOS**

| Indicación (pH) | Valor de referencia (pH) | Corrección (pH) | Incertidumbre (pH) |
|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------|
| 4.03            | 4.01                     | 0.02            | 0.012              |
| 7.01            | 7.00                     | 0.00            | 0.012              |
| 10.03           | 10.01                    | 0.02            | 0.012              |

Nota: Los resultados están dados a la temperatura de referencia de 25° C

**INCERTIDUMBRE**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k = 2$ . La incertidumbre fue determinada según la guía para la expresión de la incertidumbre de la medición generalmente el valor de magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

**OBSERVACIONES**

- Los resultados del presente documentos son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso conservación y mantenimiento del instrumento de medición
- Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva
- (\*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante
- (\*\*) Unidades de pH
- Los resultados pertenecen al promedio de 3 mediciones.



**Fecha de Calibración: 17 de febrero 2023**

**Fecha de Emisión de Constancia: 09 de febrero 2023**

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

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

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

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

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

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



SOLUCIONES QUÍMICAS AMBIENTALES SAC

# CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

## N° 004-2023

### DATOS DEL ELECTRODO

Marca: HACH

Modelo: CDC401

Serie: 171212588002

Procedencia: USA

Fecha de Calibración: 17/03/2023

Lugar de calibración:

Instalaciones del Laboratorio de Metrología de SQA.

### CONDICIONES AMBIENTALES

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Temperatura         | 23.5 °C   |
| Humedad Relativa    | 73%       |
| Presión Atmosférica | 1001 mbar |

### PATRONES DE REFERENCIA

Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a la NIST / IUPAC

N° de lote

|   |        |
|---|--------|
| Material de referencia certificado Marca ROCKER 84 µS/cm    | 210812 |
| Material de referencia certificado Marca ROCKER 1413 µS/cm  | 210825 |
| Material de referencia certificado Marca ROCKER 12880 µS/cm | 210957 |

### RESULTADOS

| Indicación (µS/cm) | Valor de referencia (µS/cm) | Corrección (µS/cm) | Incertidumbre (µS/cm) |
|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|
| 82                 | 84                          | 0.02               | 0.012                 |
| 1409               | 1413                        | 0.04               | 0.012                 |
| 12884              | 12880                       | 0.04               | 0.012                 |

Nota: Los resultados están dados a la temperatura de referencia de 25° C

### INCERTIDUMBRE

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k = 2$ . La incertidumbre fue determinada según la guía para la expresión de la incertidumbre de la medición generalmente el valor de magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

### OBSERVACIONES

- Los resultados del presente documentos son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso conservación y mantenimiento del instrumento de medición
- Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva
- (\*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante
- Los resultados pertenecen al promedio de 3 mediciones.

Fecha de Calibración: 17 de febrero 2023

Fecha de Emisión de Constancia: 09 de febrero 2023

Elaborado por Tec. Ingeniería Electrónico: Ronny Miguel Jara Caballero



Ronny Jara Caballero  
Especialista Técnico  
Jefe de Servicio Técnico

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

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

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

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



# CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 003-2023

1. **Solicitante:** SOLUCIONES QUIMICAS AMBIENTALES

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

3. **Datos del Instrumento:**

Equipo : FLOCULADOR  
Marca : FRATELLI ALLI  
Procedencia : ITALIA  
Modelo : GFLOKKU4LSXXX  
Serie : 35.389  
Rango : [20 - 300] rpm  
Resolución : No indica  
Tipo de indicación : Analógica

4. **Procedimiento:**

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

5. **Resultado de mediciones:**

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

6. **Observaciones y recomendaciones:**

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

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

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

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



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

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

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

Email: [ventas@sqa Peru.com](mailto:ventas@sqa Peru.com)

[www.sqa Peru.com](http://www.sqa Peru.com)

### ANEXO III: HOJA DE CALCULO

- Data recopilada para determinar la caracterización de la muestra de agua proveniente del río chillón:

| N°             | PH   | TURBIDEZ (NTU) | TEMPERATURA (° C) | SST (mg/L) | CONDUCTIVIDAD (uS /cm) |
|----------------|------|----------------|-------------------|------------|------------------------|
| <b>Dia 1</b>   | 7.68 | 610            | 21                | 216        | 503                    |
| <b>Dia2</b>    | 7.47 | 916            | 20                | 253        | 461                    |
| <b>Dia 3</b>   | 7.96 | 253            | 22                | 203        | 230                    |
| <b>Media</b>   | 7.70 | 593            | 21                | 224.0      | 398                    |
| <b>Mediana</b> | 7.68 | 610            | 21                | 216        | 461                    |

- Data recopilada para determinar el % de remoción de la turbidez del agua del río chillón

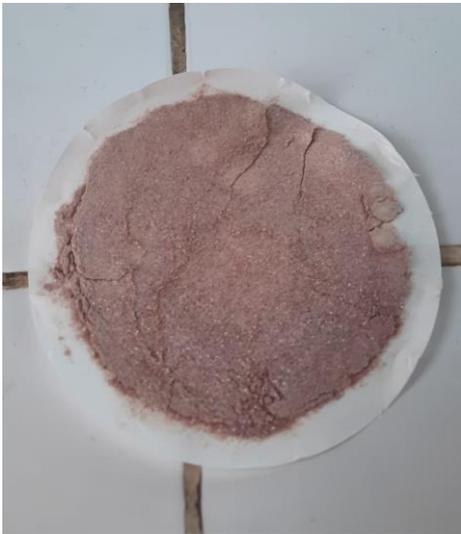
| Numero de experimentos | Factor 1<br>pH | Factor 2<br>Concentración de Coagulante (mg/L) | Turbidez (NTU) | % Turbidez | SST (mg/L) | %SST   |
|------------------------|----------------|--|----------------|------------|------------|--------|
| 1                      | 6              | 100  | 171.1          | 71.15%     | 70.2       | 52.66% |
| 2                      | 6              | 200  | 169.0          | 71.46%     | 90.6       | 59.55% |
| 3                      | 6              | 300  | 170.2          | 71.30%     | 113.0      | 49.55% |
| 4                      | 6              | 400  | 169.0          | 71.89%     | 130.0      | 58.27% |
| 5                      | 7              | 100  | 170.3          | 70.96%     | 86.0       | 58.30% |
| 6                      | 7              | 200  | 168.0          | 71.86%     | 93.4       | 58.11% |
| 7                      | 7              | 300  | 170.5          | 71.25%     | 116.7      | 47.90% |
| 8                      | 7              | 400  | 171.0          | 71.16%     | 133.9      | 40.22% |
| 9                      | 8              | 100  | 178.6          | 68.75%     | 90.0       | 59.82% |
| 10                     | 8              | 200  | 184.1          | 68.95%     | 123.6      | 44.82% |
| 11                     | 8              | 300  | 180.3          | 69.60%     | 120.8      | 46.07% |
| 12                     | 8              | 400  | 178.6          | 69.88%     | 144.9      | 35.31% |
| 13                     | 6              | 100  | 170.5          | 71.25%     | 77.0       | 55.33% |
| 14                     | 6              | 200  | 168.5          | 71.59%     | 98.0       | 56.25% |
| 15                     | 6              | 300  | 169.8          | 71.37%     | 120.9      | 46.03% |
| 16                     | 6              | 400  | 169.0          | 71.91%     | 132.0      | 58.19% |
| 17                     | 7              | 100  | 170.8          | 71.20%     | 78.0       | 57.68% |
| 18                     | 7              | 200  | 168.7          | 71.55%     | 94.8       | 59.18% |
| 19                     | 7              | 300  | 170.5          | 71.25%     | 118.3      | 47.19% |
| 20                     | 7              | 400  | 170.7          | 71.21%     | 135.2      | 47.19% |
| 21                     | 8              | 100  | 178.6          | 69.59%     | 111.0      | 50.45% |
| 22                     | 8              | 200  | 184.2          | 68.94%     | 125.1      | 44.15% |
| 23                     | 8              | 300  | 180.5          | 70.20%     | 117.4      | 47.59% |
| 24                     | 8              | 400  | 178.5          | 69.90%     | 140.1      | 37.46% |
| 25                     | 6              | 100  | 170.3          | 71.28%     | 72.0       | 56.12% |
| 26                     | 6              | 200  | 169.2          | 71.47%     | 94.0       | 58.04% |
| 27                     | 6              | 300  | 170.1          | 71.32%     | 116.5      | 47.99% |
| 28                     | 6              | 400  | 168.8          | 71.83%     | 136.0      | 59.05% |
| 29                     | 7              | 100  | 170.1          | 71.83%     | 80.0       | 59.20% |
| 30                     | 7              | 200  | 168.0          | 71.67%     | 91.4       | 57.29% |
| 31                     | 7              | 300  | 170.1          | 71.32%     | 112.0      | 50.00% |
| 32                     | 7              | 400  | 171.1          | 71.15%     | 136.3      | 39.15% |
| 33                     | 8              | 100  | 179.1          | 69.80%     | 109.0      | 51.34% |
| 34                     | 8              | 200  | 183.8          | 69.01%     | 126.8      | 43.39% |
| 35                     | 8              | 300  | 180.2          | 69.23%     | 121.6      | 45.71% |
| 36                     | 8              | 400  | 178.8          | 69.85%     | 142.7      | 36.29% |

## ANEXO IV. FOTOGRAFICOS

Extracción del Quitosano a partir de la Concha de *Choro* (*Aulacomya Atra Molina*)







## II. Aplicación del Coagulante Natural (Quitosano)



Preparación Coagulante natural a diferentes concentraciones



Caracterización del agua extraída

