

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Evaluación del poder de coagulación – floculación de los residuos de papa (*Solanum Tuberosum*) para la remoción de turbidez y color en agua destinada a consumo humano

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Químico

Autores:

Kevin Fernando Campoverde Andrade

Christian David Quituisaca Chillogalli

Directora:

Sonia Margoth Astudillo Ochoa

ORCID:  0000-0002-8351-6031

Cuenca, Ecuador

2023-07-19

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el poder de coagulación - floculación de los residuos de papa para la remoción de turbidez y color en agua destinada a consumo humano mediante la utilización de un coagulante natural. Primero se obtuvo el coagulante natural a partir de los residuos de cáscara de papa, posteriormente se realizó la caracterización del coagulante en donde se determinó un 4,575% de humedad, 0,092% de cenizas, 0,101% de proteínas y 14,017% de almidón. El estudio de la evaluación de la capacidad coagulante de los residuos de papa se realizó en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay, para lo cual se prepararon diferentes concentraciones de coagulante para realizar la prueba de jarras, además se comparó con sulfato de aluminio obteniéndose dosis óptimas comprendidas entre 15 – 210 ppm para una turbidez inicial de 11,9 hasta 428 NTU con coagulante natural y de 15 - 60 ppm para una turbidez inicial de 14,1 hasta 425 NTU con coagulante comercial. Con estos resultados se elaboraron curvas de dosificación para el coagulante natural y para el coagulante comercial. La eficiencia de remoción del coagulante natural fue de 54,94% para turbiedad y de 23,92% para color, determinando que el coagulante natural de residuos de papa posee una capacidad coagulante mayor para remover turbidez y menor para color. Mientras que con coagulante comercial el porcentaje de remoción fue de 95,83% para turbiedad y de 93,14% para color, demostrando que es más efectivo que el coagulante natural para la remoción de ambos parámetros.

Palabras clave: coagulante natural, sulfato de aluminio, remoción, turbiedad



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

This study aimed to evaluate the coagulation-flocculation power of potato residues for the removal of turbidity and color in water intended for human consumption through the use of a natural coagulant. First, the natural coagulant was obtained from potato peel residues, later the characterization of the coagulant was carried out, where 4.575% humidity, 0.092% ash, 0.101% protein, and 14.017% starch were determined. The study of the evaluation of the coagulant capacity of potato residues was carried out at the Mahuarca Treatment Plant, for which different concentrations of coagulant were prepared to carry out the jar test, and it was also compared with aluminum sulfate, obtaining optimal doses. between 15 - 210 ppm for an initial turbidity of 11.9 to 428 NTU with natural coagulant and 15 - 60 ppm for an initial turbidity of 14.1 to 425 NTU with commercial coagulant. With these results, dosage curves for the natural coagulant and the commercial coagulant were prepared. The removal efficiency of the natural coagulant was 54.94% for turbidity and 23.92% for color, determining that the natural coagulant from potato residues has a greater coagulant capacity to remove turbidity and less for color. While with commercial coagulant the removal percentage was 95.83% for turbidity and 93.14% for color, demonstrating that it is more effective than the natural coagulant for the removal of both parameters.

Keywords: natural coagulant, aluminum sulfate, removal, turbidity



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenidos

Resumen	2
Abstract.....	3
Dedicatoria.....	9
Agradecimiento	10
1. Introducción	11
1.1 Problemática	11
1.2 Justificación.....	12
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo General.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
2. Marco Teórico	14
2.1 Agua	14
2.1.1 Generalidades.....	14
2.1.2 Propiedades.....	14
2.1.3 Contaminación del agua	15
2.1.4 Agua Potable.....	15
2.1.5 Calidad del agua potable	16
2.2 Potabilización del agua	16
2.2.1 Procesos en la potabilización del agua.....	16
2.2.1.1 Captación.....	16
2.2.1.2 Coagulación.....	17
2.2.1.3 Floculación.....	17
2.2.1.4 Sedimentación	17
2.2.1.5 Filtración.....	17
2.2.1.6 Desinfección	18
2.3 Partículas coloidales.....	18
2.3.1 Propiedades de los coloides	18
2.3.2 Conexión electrocinética de los coloides.....	19
2.3.3 Equilibrio de fuerzas opuestas	21
2.4 Coagulación – Floculación.....	22
2.4.1 Generalidades.....	22
2.4.2 Proceso de Coagulación.....	22
2.4.2.1 Mecanismos de coagulación.....	23
2.4.2.2 Factores que influyen en el proceso de coagulación.....	26

2.4.3	Proceso de Floculación.....	28
2.4.3.1	Cinética de la Floculación.....	29
2.4.3.2	Factores que influyen en el proceso de Floculación.....	29
2.5	Coagulantes.....	30
2.5.1	Coagulantes metálicos.....	30
2.5.1.1	Sales de Aluminio.....	31
2.5.1.2	Sales de Hierro	33
2.5.2	Polielectrolitos.....	34
2.5.3	Coagulantes naturales.....	35
2.5.3.1	Tipos de coagulantes naturales	36
2.5.3.2	Beneficios	37
2.5.3.3	Mecanismo de coagulación de los coagulantes naturales.....	37
2.6	Papa.....	38
2.6.1	Generalidades.....	38
2.6.2	Cultivo de papa en Ecuador.....	39
2.6.3	Cáscara de papa.....	39
2.6.4	Almidón de papa.....	40
2.6.4.1	Composición del almidón.....	41
2.6.4.2	Propiedades funcionales del almidón.....	41
3.	Metodología.....	43
3.1	Descripción del área de estudio	43
3.2	Obtención del coagulante natural.....	45
3.3	Caracterización del coagulante natural.....	47
3.3.1	Determinación de Humedad.....	47
3.3.2	Determinación de Cenizas	48
3.3.3	Determinación de Proteínas.....	50
3.3.4	Determinación de Almidón	51
3.4	Realización de las pruebas de jarras utilizando coagulante natural y sulfato de aluminio.....	51
3.4.1	Recolección de las muestras de agua.....	52
3.4.2	Determinación de parámetros físico – químicos.....	52
3.4.3	Preparación de soluciones.....	53
3.4.4	Determinación del volumen de alícuotas	54
3.4.5	Prueba de Jarras.....	55
3.4.6	Determinación de la dosis óptima.....	55
3.5	Realización de la curva de dosificación de coagulante natural y coagulante comercial.....	56

3.6	Análisis estadístico.....	57
4.	Resultados y discusión.....	58
4.1	Rendimiento del proceso de obtención de coagulante natural.....	58
4.2	Caracterización del coagulante natural obtenido.....	58
4.3	Realización de la prueba de jarras utilizando coagulante natural	60
4.3.1	Remoción de turbiedad.....	60
4.3.2	Remoción de color.....	63
4.3.3	Determinación de las dosis óptimas de coagulante natural	64
4.4	Realización de la prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio	65
4.4.1	Remoción de turbiedad.....	65
4.4.2	Remoción de color.....	66
4.4.3	Determinación de la dosis óptima del sulfato de aluminio	68
4.5	Curvas de dosificación.....	69
4.5.1	Elaboración de la curva de dosificación de coagulante natural.....	69
4.5.1.1	Rango de turbiedad completa	70
4.5.2	Elaboración de la curva de dosificación del sulfato de aluminio.....	73
4.5.2.1	Rango de turbiedad completa	73
4.6	Análisis estadístico.....	76
4.6.1	Criterio para determinar la normalidad	77
4.6.2	Criterio para determinar la prueba estadística	77
4.6.3	Prueba de normalidad.....	77
4.6.4	Prueba estadística.....	78
5.	Conclusiones y recomendaciones.....	80
5.1	Conclusiones.....	80
5.2	Recomendaciones.....	81
6.	Referencias.....	82
7.	Anexos.....	99

Índice de figuras

Figura 1 Partículas cargadas	20
Figura 2 Partículas sin carga.....	20
Figura 3 Fuerzas de atracción y repulsión	21
Figura 4 Coagulación.....	23
Figura 5 Reacción entre el ion Al^{+3} y una partícula coloidal.....	32
Figura 6 Reacción entre $Al(OH)_3$ + y una partícula coloidal.....	32
Figura 7 Mecanismo de neutralización de carga.....	38
Figura 8 Mecanismo de adsorción y puente	38
Figura 9 Partes internas y externas del tubérculo de papa.....	40
Figura 10 Localización de la Planta de Potabilización EMAPAL EP - Mahuarcay	43
Figura 11 Diagrama de Proceso Operacional de la Planta de Potabilización de Mahuarcay	45
Figura 12 Diagrama de Proceso Operacional de obtención del coagulante natural.....	47
Figura 13 Estufa.....	48
Figura 14 Mufia	49
Figura 15 Equipo de destilación Kjeldahl.....	51
Figura 16 Turbidímetro	52
Figura 17 Colorímetro.....	53
Figura 18 pH - metro.....	53
Figura 19 Balanza analítica.....	54
Figura 20 Equipo de prueba de jarras	55
Figura 21 Gráfico de dispersión – Coagulante Natural.....	70
Figura 22 Ajuste de regresión lineal - Coagulante Natural.....	71
Figura 23 Ajuste de regresión polinomial de grado seis - Coagulante Natural.....	72
Figura 24 Ajuste de regresión logarítmica - Coagulante Natural.....	72
Figura 25 Gráfico de dispersión - Sulfato de Aluminio.....	74
Figura 26 Ajuste de regresión lineal - Sulfato de Aluminio.....	74
Figura 27 Ajuste de regresión polinomial de grado seis - Sulfato de Aluminio.....	75
Figura 28 Ajuste de regresión logarítmico - Sulfato de Aluminio.....	76

Índice de tablas

Tabla 1 Composición del sulfato de aluminio tipo A y tipo B.....	31
Tabla 2 Beneficios de los coagulantes naturales.....	37
Tabla 3 Rendimiento de proceso de obtención del coagulante natural.....	58
Tabla 4 Parámetros físico - químicos del coagulante natural a partir de cáscara de papa ..	59
Tabla 5 Clasificación de turbiedades	60
Tabla 6 Datos obtenidos de turbiedad inicial, turbiedad final y porcentaje de remoción - Coagulante Natural.....	60
Tabla 7 Resultados del porcentaje de remoción promedio de turbiedad baja, media y alta.	62
Tabla 8 Datos obtenidos de color inicial, color final y porcentaje de remoción - Coagulante Natural.....	63
Tabla 9 Resultados de dosis óptimas de cada ensayo - Coagulante Natural	64
Tabla 10 Datos obtenidos de turbiedad inicial, turbiedad final y porcentaje de remoción - Sulfato de Aluminio.....	66
Tabla 11 Datos obtenidos de color inicial, color final y porcentaje de remoción - Sulfato de Aluminio.....	67
Tabla 12 Resultados de dosis óptimas de cada ensayo - Sulfato de Aluminio.....	68
Tabla 13 Datos de turbiedad ordenados ascendentemente con su respectiva dosis – Coagulante Natural.....	70
Tabla 14 Datos de turbiedad ordenados ascendentemente con su respectiva dosis – Sulfato de Aluminio.....	73
Tabla 15 Prueba de normalidad de turbiedad inicial y final	77
Tabla 16 Prueba de normalidad de color inicial y final.....	78
Tabla 17 Estadísticos de prueba - Turbiedad.....	78
Tabla 18 Estadísticos de prueba - Color	79

Dedicatoria

A toda mi familia le agradezco el inmenso apoyo que me brindaron durante esta etapa de mi vida, los cuales me supieron brindar sus consejos para llegar a ser una mejor persona y un excelente profesional. En especial a Sam, Buffarini, Gianluigi y a mis padres.

Chris

El camino recorrido hasta ahora no ha sido fácil, sin duda el amor, cariño y apoyo incondicional que me han otorgado en los momentos más duros: mis padres, hermanos, hermana política, mi sobrinita, mi abuelita y toda mi familia, han hecho posible que culmine una meta más en mi vida, por lo que este trabajo se los dedico con inmenso amor.

Kevin

Agradecimiento

A Dios por la oportunidad de culminar la carrera.

A la Universidad de Cuenca y a los docentes quienes nos han formado en nuestra profesión como ingenieros químicos, y al personal técnico de los laboratorios por facilitarnos el espacio físico para la parte experimental del presente proyecto de tesis.

A la ingeniera Sonia Astudillo por su apoyo en este proyecto de tesis, con sus opiniones y conocimientos nos guió en la ejecución de este trabajo.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Azogues (EMAPAL), a sus empleados y trabajadores por permitirnos realizar el trabajo en la planta de tratamiento de Mahuarcay.

Al ingeniero César Zhindón y a los trabajadores de la planta de tratamiento de agua potable de Mahuarcay de la ciudad de Azogues por brindarnos todo su apoyo y contingente en la realización de éste proyecto.

Chris y Kevin

1. Introducción

1.1 Problemática

El tratamiento de agua para consumo humano es un proceso que se realiza en todo el mundo. A inicios de la década de los setenta, se adoptó la tecnología de tratamiento de agua potable en diversos países latinoamericanos en vía de desarrollo. El proceso de potabilización consta de varios procesos por los cuales se somete el agua antes de su consumo, uno de estos procesos es la coagulación (Ojeda, 2012). Dentro de este se desestabilizan los sólidos suspendidos presentes en el agua mediante la neutralización de los mismos con cargas positivas, por medio de la utilización de agentes coagulantes que generalmente son sales de aluminio y hierro, aunque también se aplica el uso de polímeros sintéticos.

Durante los últimos años se han desarrollado nuevos estudios que dan a conocer la importancia del uso de coagulantes naturales que puedan disminuir en parte o totalmente, la utilización de productos químicos, logrando de esta manera la reducción de la contaminación generada por los coagulantes químicos (Ojeda, 2012). Un ejemplo de este problema se da con el coagulante comercial más utilizado, sulfato de aluminio, que al ser aplicado en el agua deja trazas de aluminio, que de acuerdo a la investigación realizada por Laborda Rubio & NPunto (2019) determina que existe una relación de aumento de incidencia de la enfermedad de Alzheimer tras un aumento de la ingesta de aluminio a través del agua potable.

Se ha estudiado también que la ingesta de concentraciones elevadas de aluminio afecta a otros órganos del cuerpo humano, acumulándose en varios tejidos tales como hígado, cerebro, huesos, músculos, además interrumpe con el transporte de hierro provocando un tipo de anemia, también disminuye la absorción del calcio generando dolores, fracturas y deformaciones en los huesos (González & Hernández, 2006).

La utilización de coagulantes químicos en las plantas de tratamiento de agua potable también ocasiona daños medio ambientales debido a que durante los procesos de floculación, sedimentación y filtración en la potabilización de agua se generan lodos residuales los cuales contienen residuos de los coagulantes químicos empleados, estos lodos al ser vertidos de manera indiscriminada en las fuentes de agua, tienden a formar depósitos de sedimentos, alterando de manera significativa los cauces, provocando una disminución de la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, aumentando la turbiedad, modificando el color de las aguas receptoras y en general ocasionando impactos ambientales de consideración (Rodríguez Torres, 2013).

1.2 Justificación

El agua es un recurso imprescindible para los seres vivos, de su potabilización depende la salud de las personas, para esto debe someterse a procesos físico – químicos en los cuales se utilizan coagulantes químicos que ayudan para promover la remoción de color y turbiedad. Últimamente con el desarrollo de nuevos procedimientos se ha dado a conocer la importancia del uso de coagulantes naturales locales que puedan realizar la misma función que los coagulantes sintéticos (Ojeda, 2012).

Los coagulantes naturales presentan generalmente una muy poca o nula toxicidad, por lo que su utilización se hace cada vez más necesaria considerando las realidades socio – económicas de varios países. En América Latina se han estudiado y utilizado distintos coagulantes naturales como la moringa, papa, yuca cactus, maíz, nopal y trigo, algunos de ellos utilizados por el almidón, el cual constituye la mayor reserva de carbohidratos de las plantas (Rodríguez et al., 2007). También se ha investigado el uso de residuos agrícolas como coagulantes para el tratamiento de agua potable, entre los residuos estudiados se encuentran cáscara de plátano, cáscara de papa, cáscara de cacao, cáscara de yuca, entre otros.

En un estudio realizado por Gonzales (2020) se estudió la cáscara de plátano como coagulante natural en donde se obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez del 96,08% en las aguas del río Choqueyapu concluyendo que el coagulante natural de cáscara de plátano logra la clarificación de agua cruda destinada a consumo humano. En otra investigación realizada por Camacho-Oviedo et al. (2020) se evalúa el proceso de clarificación de un humedal natural usando dos coagulantes, sulfato de aluminio y cáscara de papa (*Solanum tuberosum* L), en donde se determinó que los coagulantes utilizados influyeron sobre la turbidez del agua de la ciénaga. Estas y otras investigaciones impulsan el estudio y aprovechamiento de los residuos agrícolas como alternativa viable en el tratamiento de las aguas.

En Ecuador la agroindustria representa un sector de participación importante para la economía, pero su funcionamiento genera residuos que, dada su composición, se convierte en un material de interés para ser aprovechado como materia prima que pueden ayudar en el tratamiento de agua lo que contribuiría a mejorar las condiciones de salud y saneamiento de la población (Riera et al., 2018).

En este sentido el presente proyecto busca evaluar un coagulante natural que ayude en el proceso de potabilización del agua, minimizando la utilización de los coagulantes sintéticos

contribuyendo de esta manera en la reducción del impacto ambiental y esperando obtener un agua potable de calidad de acuerdo a la normativa vigente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el poder de coagulación - floculación de los residuos de papa para la remoción de turbidez y color en agua destinada a consumo humano.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización del coagulante natural obtenido mediante análisis de laboratorio.
- Determinar parámetros iniciales y finales del agua durante el proceso de coagulación en función del coagulante natural y del coagulante comercial.
- Determinar la dosis óptima del coagulante natural mediante la realización del ensayo de jarras utilizando distintas dosis.
- Comparar la eficiencia de remoción del coagulante natural obtenido a partir de los residuos de la papa con el coagulante comercial utilizado en la planta de tratamiento de agua potable

2. Marco Teórico

2.1 Agua

2.1.1 Generalidades

El agua está compuesta por tres átomos, los cuales son oxígeno y dos átomos de hidrogeno, esta unión es la que forma la molécula ya conocida de H_2O (Falconi, 2012).

Según la Fundación Aquae (2021), el porcentaje de agua existente en el globo terráqueo se puede distribuir en un 97% que se encuentra en los océanos, alrededor del 2% se encuentra congelada, y solo el 2,5% que existe de agua, es dulce, de lo cual el 0,5% se encuentra en condiciones subterráneas y el 0,01% se distribuye entre ríos y lagos, además señala que cerca del 90% de agua que es usada vuelve a los ríos sin ningún tipo de tratamiento previo.

La Organización de las Naciones Unidas (2023) menciona que el agua es fundamental para el desarrollo socioeconómico, energético, producción de alimentos, y para la supervivencia de los seres humanos, además de que es vinculo muy importante entre medioambiente y la sociedad.

2.1.2 Propiedades

El agua tiene una estructura simple, se presenta en tres de los estados básicos sólido, líquido, gas, y a temperatura ambiente se presenta como líquido, es considerado como el elemento de la vida ya que los organismos vivos dependen de esta para poder seguir existiendo, esto debido a que es el componente mayoritario de los seres vivos, cerca del 95% es agua, por lo cual es fundamental para las funciones biológicas, como el funcionamiento estructural y de los tejidos (Brenes-Esquivel & Rojas-Solano, 2005).

Las propiedades únicas del agua tanto físicas como químicas le brindan una real importancia, y lo hacen indispensable para la vida, por ejemplo es un solvente excelente, al igual que es un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos, además se puede mencionar de que tiene una gran capacidad calorífica (Fernández Cirelli, 2012).

- **Propiedades físicas**

La versatilidad de sus propiedades como son la densidad, solubilidad, calor específico, etc., le hacen muy importante para procesos fisiológicos de los seres vivos. Su temperatura de fusión es de $100^{\circ}C$ a nivel del mar, y su punto de fusión es de $0^{\circ}C$, el valor de la densidad a $4^{\circ}C$ es de 1 g/cm^3 , el agua tiene una elevada tensión superficial, constante dieléctrica, y además altos valores de calor de vaporización y calor específico (Guzmán Licon, 2022). Por ende como menciona Zarza (2020) el agua es una sustancia de vital importancia para la vida con excepcionales propiedades esto debido tanto a su composición como a su estructura.

- **Propiedades químicas**

Como menciona Eustaquio (2019) el agua es un disolvente universal ya que la mayoría de sustancias tienden a ser solubles en ella, el agua se puede combinar con ciertas sales para formar hidratos, de igual manera puede reaccionar con óxidos de metales para formar ácidos, puede actuar como catalizador en algunas reacciones, posee una característica particular, el agua no es ni ácida ni básica, además de tener un carácter dipolar. Tiene cualidades como un ángulo de enlace de 105° , las moléculas del agua presentan un enlace intermolecular débil denominado como enlaces por puentes de hidrógeno.

2.1.3 Contaminación del agua

El agua se ve afectada en mayor proporción por las actividades humanas, el agua contaminada no solo afecta a estas generaciones si no que afectará la vida a las futuras generaciones, ya que su efecto dañino puede perdurar por mucho tiempo. De hecho si el agua está contaminada en un área las personas que habitan en ese lugar al igual que los animales tienden a exponerse al peligro de beber agua contaminada con lo cual ocasionaría en ellos enfermedades como cólera, tifoidea, diarrea, tuberculosis y hasta problemas más graves de salud (Khatun, 2017).

Según Guadarrama, Kido, Roldán, et al. (2016) los principales contaminantes del agua se pueden describir como:

- Agentes patógenos como bacterias, virus, y parásitos, estos provenientes de desechos orgánicos.
- Sustancias químicas inorgánicas como lo son ácidos y compuestos de metales tóxicos.
- Sustancias químicas orgánicas como el plástico, el petróleo, detergentes.
- Residuos industriales vertidos al agua.
- Sedimentos y materia suspendida en agua (Guadarrama et al., 2016).

2.1.4 Agua Potable

El agua es importante para todo tipo de vida, en esencial para el ser humano, disponer de agua potable es fundamental para mantener la vida humana, la escasez de este recurso como la contaminación de la misma, es un problema que puede provocar costos sociales como económicos, por eso la correcta distribución sostenible y continua de agua potable es fundamental, así pensando también en un abastecimiento para el futuro, seguro y de calidad (Di Vito & Mancini, 2021).

2.1.5 Calidad del agua potable

Se considera importante que el agua destinada a consumo humano no contenga ningún tipo de contaminación, como microorganismos patógenos, por lo que para evaluar la calidad del agua potable se han desarrollado métodos, para asegurar que esta no contenga ningún tipo de agente contaminante, como por ejemplo un método de análisis bacteriológico para detectar contaminantes fecales (Córdoba et al., 2010). De igual manera se puede también evaluar la calidad del agua mediante parámetros como demanda bioquímica de oxígeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto (Bhateria & Jain, 2016). Según la Organización Mundial de la Salud (2022) más de 2000 millones de personas viven en países con escasez de agua situación que podría empeorar por los diferentes efectos del cambio climático y también por el crecimiento poblacional, de hecho en 2020 solo el 74% de la población utilizaba un sistema de agua gestionada de forma segura, es decir, que se encuentre cuando se necesite y no contaminada.

2.2 Potabilización del agua

La potabilización del agua es el proceso que consiste en la captación, la mezcla con sustancias coagulantes y reactivas o coagulación, la floculación, la sedimentación, la filtración y la desinfección ya sea por cloro, ionización, carbón activado o cualquier otra tecnología (Gil & Canaquiri, 2019). Las aguas provenientes de fuentes superficiales como ríos tienen cantidades considerables de contaminantes por lo que necesitan de un proceso para ser suministradas a los consumidores, es así, que el principal objetivo de la potabilización es garantizar que el agua que llega al consumidor cumpla con los parámetros establecidos que se encuentran dentro de la NTE INEN 1108 (Broncano & Rosario, 2017).

2.2.1 Procesos en la potabilización del agua

Dentro de una planta de potabilización de agua se realizan una serie de operaciones unitarias con el objetivo de cumplir con necesidades de tratamiento específico (Patiño & Vallejo, 2022).

2.2.1.1 Captación

El proceso de producción de agua potable inicia con un procedimiento necesario para llevar el recurso desde las fuentes superficiales hasta una planta de tratamiento, en donde se convierte el agua cruda en agua potable (Brito, 2015).

Este proceso se denomina captación, la cual se realiza mediante tomas de agua que se hacen en ríos, diques o napas subterráneas. El agua procedente de ríos se encuentra más expuesta a la contaminación, debido a que están en contacto directo con material sólido y

microorganismos, por lo cual requieren de un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, materia mineral y el grado de contaminación varían según la época del año y el clima de la región (Camacho, 2014).

2.2.1.2 Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se encuentran en suspensión en el agua cruda, que se produce por la neutralización de las fuerzas que los mantienen separados, mediante la adición de coagulantes y la aplicación de la energía de mezclado. Como consecuencia de este proceso de desestabilización se eliminan las materias en suspensión estables; la turbiedad, la concentración de materias orgánicas y ciertos microorganismos (Cárdenas, 2000).

2.2.1.3 Floculación

El proceso de floculación tiene lugar inmediatamente después de la coagulación, dentro de este proceso los microfloculos son sometidos a una agitación lenta con la cual se genera la unión de estos en agregados mayores o floculos, que son visibles a simple vista, y poseen la suficiente cohesión y densidad para continuar con la siguiente etapa de sedimentación. El motivo de que en la floculación se requiera una menor velocidad de agitación es para impedir la rotura y disgregación de los floculos formados, los floculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial (Rojas Jaraba & Bazurto Barros, 2021).

2.2.1.4 Sedimentación

La sedimentación es un proceso físico que consiste en la separación, por acción de la fuerza gravitacional, de las partículas floculentas que se forman por la aglomeración de los coloides desestabilizados en los procesos de coagulación y floculación, y que tienen una densidad mayor que la del agua (Ordinola, 2019). Según Idrovo (2010) este proceso se realiza en unidades o cámaras denominadas sedimentadores o decantadores, que son colocados a continuación de las cámaras de floculación, estos sedimentadores poseen vertederos cilíndricos ubicados en la parte superior en los cuales se capta la capa del agua que contiene menor turbiedad, por medio de estos vertederos el agua pasa a la zona de filtración.

2.2.1.5 Filtración

La filtración es un proceso de clarificación que consiste en la remoción de partículas coloidales, material suspendido como arcillas y determinados microorganismos resistentes a la desinfección. Este proceso se lleva a cabo en filtros o baterías de filtros los cuales en la parte inferior contienen un lecho filtrante conformado por distintos medios porosos, de esta forma a medida que el agua atraviesa el lecho diversas acciones físicas, químicas y

microbiológicas intervienen conjuntamente haciendo que las partículas hagan contacto y sean adsorbidas sobre la superficie de los medios porosos que conforman el lecho filtrante (Ordinola, 2019). La filtración es considerada el último proceso de clarificación del agua por lo que debe remover en un 90% la turbiedad remanente de los procesos anteriores (coagulación, floculación y sedimentación), por lo consiguiente esta etapa es la responsable de la producción de agua de calidad (Escobar, 2005).

2.2.1.6 Desinfección

La desinfección es el último proceso que se realiza dentro de una planta de tratamiento de agua potable en donde se lleva a cabo la destrucción de organismos patógenos presentes en el agua y que no han sido eliminados en los procesos anteriores (coagulación, floculación, sedimentación y filtración) mejorando así la calidad del agua y garantizando su inocuidad para la salud del consumidor (Ordinola, 2019). La cloración es el procedimiento más utilizado en la desinfección del agua de consumo humano en razón a que el cloro reúne la mayoría de propiedades del "desinfectante ideal", gracias a su acción germicida, el cloro produce la destrucción de microorganismos, tiene una gran importancia en la oxidación de sustancias inorgánicas reducidas como hierro, manganeso, sulfuros, etc., la destrucción de compuestos que producen olor y sabor y la eliminación de algas (Rossel Bernedo et al., 2020).

2.3 Partículas coloidales

Las partículas coloidales o coloides son suspensiones dentro de un medio molecular, sus dimensiones se encuentran en el rango de 1 y 1000 milimicrones, de esta manera los coloides tienen un tamaño intermedio entre las partículas en suspensión y las partículas en solución (Ojeda, 2012).

2.3.1 Propiedades de los coloides

Los coloides tienen varias propiedades, entre las principales se encuentran:

Cinéticas

- **Movimiento Browniano:** Describe el movimiento aleatorio en zigzag de las partículas coloidales. Estas están sujetas a colisiones aleatorias con las moléculas del medio de dispersión; por lo tanto, cada partícula sigue un camino en zigzag irregular. La velocidad de las partículas disminuye al aumentar el tamaño de las mismas y al aumentar la viscosidad del medio (Bharti, 2021).

- **Difusión:** Como resultado del movimiento browniano, las partículas coloidales se difunden espontáneamente desde una región de mayor concentración a otra de menor concentración hasta que la concentración de todo el sistema es uniforme (Bharti, 2021).
- **Presión osmótica:** Si una solución y un solvente están separados por una membrana semipermeable, se produce la tendencia a igualar las concentraciones en cualquier lado de la membrana, esto da como resultado una difusión del solvente a través de la membrana. La presión necesaria para equilibrar este flujo se denomina presión osmótica (Bharti, 2021).

Ópticas

- **Efecto Tyndall:** Cuando la luz viaja en un medio en el cual se encuentran partículas de distinto tamaño, éstas interactúan con la luz y la dispersan. A este efecto se le conoce efecto Tyndall, este efecto establece un modo de diferenciar entre una solución y una dispersión coloidal: la dispersión coloidal permite observar la trayectoria de la luz a su paso, mientras que la trayectoria de luz que atraviesa una solución verdadera será prácticamente invisible (Álvarez et al., 2020).

Eléctricas

- **Naturaleza electrostática de los coloides:** La propiedad más importante de las dispersiones coloidales es que todas las partículas suspendidas poseen una carga positiva o negativa. Las fuerzas mutuas de repulsión entre las partículas cargadas de manera similar les impiden aproximarse unas a otras y sedimentar bajo la acción de la gravedad (Iwuozor, 2019).
- **Doble capa eléctrica:** La superficie de las partículas coloidales adquiere una carga positiva por acción del proceso de adsorción de la capa de iones positivos a su alrededor. Esta capa atrae contra iones del medio que forma una segunda capa de cargas negativas (Iwuozor, 2019).

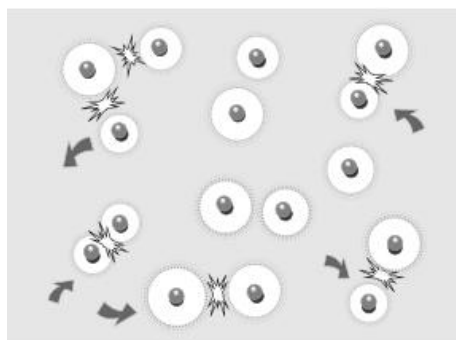
2.3.2 Conexión electrocinética de los coloides

La clave para una coagulación y floculación eficaces es comprender cómo interactúan los coloides entre sí. Las partículas que producen turbidez oscilan entre aproximadamente 0,01 y 100 micras de tamaño. La fracción mayor es relativamente fácil de sedimentar o filtrar. La fracción coloidal más pequeña (de 0,01 a 5 micras), presenta el verdadero desafío, debido a

que los tiempos de asentamiento que requieren son demasiado lentos y no se eliminan mediante la filtración (Ravina, 1993).

El comportamiento de los coloides en el agua está fuertemente influenciado por su carga electrocinética. Cada partícula coloidal lleva una carga similar, que generalmente suele ser negativa. Esta carga similar hace que las partículas adyacentes se repelen entre sí y evita la aglomeración y que el proceso de floculación sea efectivo. Como resultado, los coloides cargados tienden a permanecer dispersos y en suspensión (Ravina, 1993).

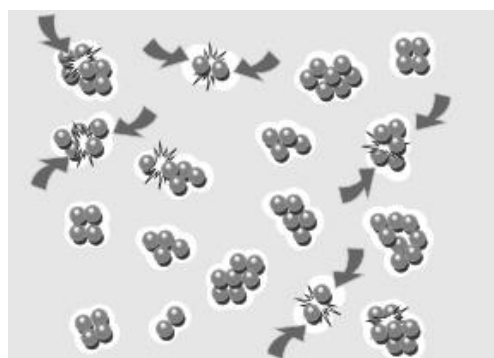
Figura 1
Partículas cargadas



Fuente: (Ravina, 1993).

Por otro lado, si la carga se reduce significativamente o se elimina, entonces los coloides se juntarán. Se produce una primera formación de pequeños grupos, luego agregados más grandes y finalmente en partículas visibles de flóculos que se asientan rápidamente y se filtran con facilidad (Ravina, 1993).

Figura 2
Partículas sin carga



Fuente: (Ravina, 1993).

2.3.3 Equilibrio de fuerzas opuestas

El balance o equilibrio de fuerzas opuestas o contrarias que experimentan los coloides se puede entender a través de la teoría DLVO denominada así por sus descubridores Derjaguin Landau Verwey Overbeek, esta se basa en el equilibrio resultante entre las fuerzas opuestas de la repulsión electrostática y atracción tipo Van der Waals, y logra explicar por qué algunos coloides se aglomeran mientras que otros no lo hacen (Romero Shirai, 2018).

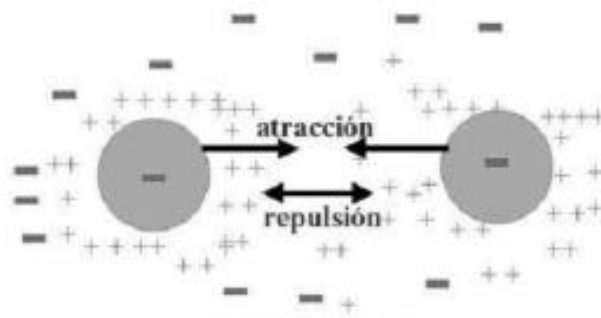
Fuerzas de repulsión

La repulsión electrostática se evidencia cuando los coloides se aproximan, pero son detenidos por la doble capa por lo que se necesita una energía adicional para sobrepasar esa repulsión y forzar la unión entre las partículas, esta energía aumenta cuando las partículas se acercan, alcanza su valor máximo cuando las partículas están casi unidas y disminuye al encontrarse fuera de la doble capa (Ravina, 1993).

Fuerzas de atracción

La atracción de Van der Waals entre los coloides es el resultado de las fuerzas entre las moléculas individuales de cada coloide. El origen de esta fuerza, dentro de una escala microscópica, se debe a la suma de la interacción de los dipolos instantáneos que se producen en los átomos que conforman a cada partícula coloidal (Romero Shirai, 2018). Este fenómeno conduce a una fuerza macroscópica atractiva entre las partículas coloidales, este fenómeno es aditivo, es decir, una molécula de la primera partícula coloidal experimenta la atracción de Van der Waals de cada molécula de la segunda partícula coloidal. Este mecanismo se repite para cada molécula y la fuerza total corresponde a la suma de todas ellas (Ravina, 1993).

Figura 3
Fuerzas de atracción y repulsión



Fuente: (Lorenzo-Acosta, 2006).

2.4 Coagulación – Floculación

2.4.1 Generalidades

La turbiedad y el color del agua son parámetros causados mayormente por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas presentan ciertas características como encontrarse en suspensión en el agua por tiempo prolongado, atravesar medios filtrantes muy finos y no poseer la tendencia de aproximarse unas a otras a pesar de que su concentración es muy estable (Broncano & Rosario, 2017).

En el proceso de coagulación se produce la desestabilización de la suspensión coloidal por la ruptura de las dobles capas eléctricas que rodean a las partículas coloidales, a través de lo cual se favorece su aglomeración. Este proceso empieza al instante en que se añade el coagulante al agua y toma solamente unos segundos, dentro del mismo se llevan a cabo una serie de reacciones físicas y químicas entre el coagulante, la superficie de las partículas, la alcalinidad y el agua (Ojeda, 2012).

La floculación es el proceso mediante el cual las partículas coloidales una vez desestabilizadas interactúan unas con otras mediante la ayuda de una mezcla lenta, estableciendo puentes químicos entre sí, haciendo que las fuerzas de atracción tipo Van der Waals prevalezcan sobre las fuerzas de repulsión electrostática, de esta manera las partículas se aglomeran formando microfloculos y posteriormente masas voluminosas denominadas flóculos, estos son eliminados con facilidad con los procedimientos de sedimentación y filtración (Broncano & Rosario, 2017; Ojeda, 2012).

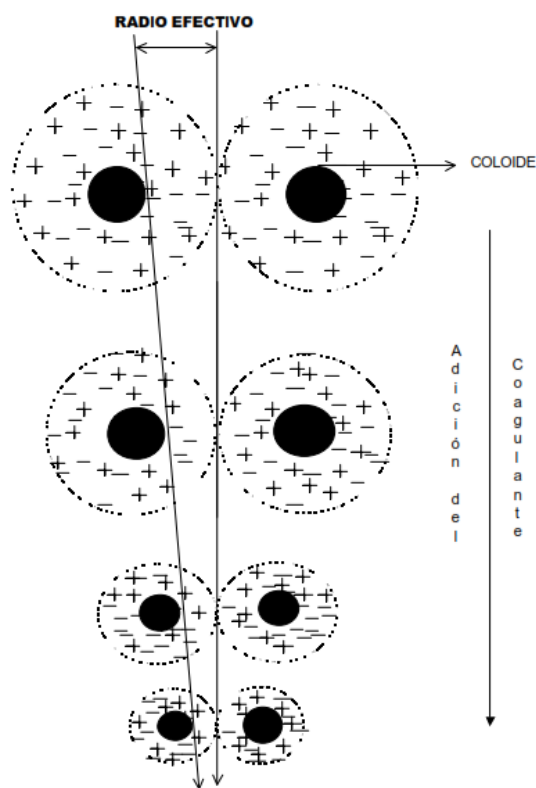
2.4.2 Proceso de Coagulación

La coagulación dentro del proceso de potabilización del agua tiene por objeto adecuar a las partículas presentes en el agua, a través de la anulación de las cargas superficiales, para conseguir posteriormente mediante la floculación, partículas con mayor volumen que puedan ser separadas con más facilidad del agua. La neutralización de las cargas eléctricas de las partículas coloidales se realiza añadiendo al agua determinados componentes denominados coagulantes como sales de aluminio o hierro; generalmente se utiliza sulfato de aluminio, de esta manera los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que rodean a las partículas coloidales dispersas en el agua. Las reacciones que ocurren en el proceso de coagulación son muy rápidas, duran solamente fracciones de segundo desde que se ponen en contacto el coagulante con las partículas en el agua. La coagulación se consigue mediante la difusión rápida de las sustancias coagulantes en el agua, empleando medios de agitación rápida. Una vez transcurrida la neutralización de las

partículas coloidales, es decir una vez conseguida la desestabilización coloidal, las partículas formadas están en capacidad de aglomerarse, esta aglomeración se favorece mediante una agitación lenta. La coagulación es un tratamiento muy eficaz debido a que remueve una gran cantidad de sustancias de distintas naturalezas, sin embargo, si el proceso es mal realizado puede ocasionar una disminución de la calidad del agua representando gastos elevados de operación no justificados (Broncano & Rosario, 2017; Rojas Jaraba & Bazurto Barros, 2021).

En la siguiente figura se indica como los coagulantes anulan las cargas eléctricas en la superficie de las partículas coloidales, consiguiendo que las mismas se aglomeren formando flóculos (Cárdenas, 2000).

Figura 4
Coagulación



Fuente: (Cárdenas, 2000).

2.4.2.1 Mecanismos de coagulación

Las partículas coloidales, sustancias húmicas y ciertos microorganismos presentan una carga negativa, lo que imposibilita la unión entre las mismas. Por tal motivo es necesario modificar esa fuerza iónica por medio de la adición de sustancias que provoquen el fenómeno de la coagulación (Vargas, 2004).

La desestabilización de las partículas se puede obtener por los siguientes mecanismos fisicoquímicos: compresión de la doble capa, adsorción y neutralización de cargas, atrapamiento de partículas en un precipitado y, adsorción y puente.

- **Compresión de la doble capa**

La compresión de la doble capa se puede definir como un mecanismo que utiliza iones con carga contraria a la de las partículas coloidales para penetrar la doble capa que rodea a las mismas. Los iones con carga contraria alteran las propiedades de la doble capa y la compresión continua del electrolito reducirá la repulsión electrostática y aumentará las fuerzas de Van der Waals que fomentarán la unión de los coloides desestabilizados. Los flóculos formados son más grandes debido a una mayor tasa de agregación, pero tienen un bajo grado de sedimentación debido a la fuerza de fricción que se genera en gran parte de los flóculos formados. Además, la fuerza de los flóculos depende de la carga iónica del coagulante, por ejemplo, los iones monovalentes que están débilmente cargados producirán flóculos grandes pero dispersos que requieren más tiempo para asentarse (Bahrodin et al., 2021).

- **Adsorción y neutralización de cargas**

La neutralización de cargas se produce mediante la adsorción entre los coagulantes con carga opuesta y la superficie de los coloides. Los coagulantes químicos se someten a un proceso de hidrólisis y producen varias especies catiónicas antes de reaccionar con los coloides, estas especies catiónicas se adhieren en la superficie de los coloides, de manera similar a un parche, dando como resultado que las partículas adquieran superficies con cargas tanto positivas como negativas. Esta mezcla de cargas presente en la superficie de los coloides reducirá las fuerzas repulsivas y aumentará las fuerzas de Van der Waals entre las partículas. Los flóculos formados mediante este mecanismo de coagulación pueden resistir la fuerza de corte y no se rompen con facilidad, sin embargo, a pesar de que los flóculos formados por adsorción y neutralización de cargas son resistentes, su fuerza se encuentra en dependencia de enlaces físicos que son más débiles que los químicos. Este mecanismo es considerado el más rentable debido al hecho de que la neutralización es un proceso que ocurre estequiométricamente entre los iones con carga positiva y negativa. Además, este mecanismo podría realizar la coagulación a través de coagulantes inorgánicos o polímeros orgánicos catiónicos (Bahrodin et al., 2021; Ghernaout, 2020).

- **Atrapamiento de partículas en un precipitado**

Cuando los coagulantes constituidos por elementos metálicos trivalentes como sulfato de aluminio $[Al_2(SO_4)_3]$ o cloruro férrico $(FeCl_3)$ se agregan en una concentración suficientemente

alta, reaccionarán con los hidróxidos (OH^-) para formar precipitados de hidróxido metálicos. Las partículas coloidales quedan atrapadas en los precipitados ya sea durante la formación del precipitado o justo después. Este tipo de coagulación por atrapamiento de coloides en precipitados se denomina comúnmente floculación de barrido (Ghernaout & Ghernaout, 2012). Existen tres factores que influyen en este mecanismo de coagulación:

Sobresaturación: Para obtener una precipitación rápida y un proceso eficiente, se requieren altas concentraciones de $\text{Al}(\text{OH})_3$ o $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Presencia de aniones: La precipitación mejora con la presencia de varios aniones en el agua. Los aniones más efectivos a este respecto son los iones de sulfato $+3$.

Concentración de coloides: La precipitación también mejora con una mayor concentración de partículas coloidales. La razón de esto es que los mismos coloides podrían actuar como núcleos para la formación de precipitados (Ghernaout & Ghernaout, 2012).

- **Adsorción y puente**

El mecanismo de adsorción y puente o también llamado puente entre partículas tiene lugar cuando se emplean coagulantes orgánicos o polímeros orgánicos. Los polímeros poseen hilos y fibras que unen las partículas en grandes y compactos aglomerados. Este mecanismo se basa en una cadena polimérica de polímeros que tienen un grupo largo y son altamente reactivos, una parte de la cadena polimérica se unirá a coloides, mientras que las partes sueltas de la cadena polimérica se adhieren a otras partículas coloidales y forman una estructura compleja coloide – polímero - coloide en la que el polímero sirve para conectar las cadenas poliméricas del coagulante con las partículas del coloide. Varias estructuras coloide – polímero - coloide pueden enredarse y formar flóculos fácilmente sedimentables. Un factor importante a considerar es el peso molecular del polímero empleado como coagulante, mientras el peso molecular es más alto existe una mayor probabilidad de que se encuentren disponibles segmentos de polímero colgantes y, por lo tanto, también de estructuras coloide – polímero – coloide. Sin embargo, se debe hacer una distinción entre el peso molecular y la longitud efectiva de la cadena polimérica, siendo esta última influenciada notablemente por la estructura del polímero (lineal o ramificado) y la química del agua (Bahrodin et al., 2021; Ghernaout, 2020; Lapointe & Barbeau, 2020).

2.4.2.2 Factores que influyen en el proceso de coagulación

Algunos de los factores que afectan los procesos de coagulación en el agua incluyen el tipo de coagulante, la dosis de coagulante, los procesos de mezcla y las características del agua que se va a tratar (Bahrodin et al., 2021).

- **Dosis del coagulante**

La dosis del coagulante es uno de los factores más importantes que se han considerado para determinar la condición óptima para el desempeño de los coagulantes en las etapas de coagulación y floculación. El efecto de la dosificación de coagulante frente a la eliminación de contaminantes se puede analizar a través de tres condiciones diferentes, a saber, infradosificación, dosificación óptima y sobredosificación. La infradosificación se puede definir como una dosificación insuficiente de coagulante para adherirse al contaminante existente y requiere por lo tanto de coagulantes adicionales para alcanzar una condición óptima. La sobredosificación se produce al agregar una cantidad de coagulante que exceda la dosis óptima. El exceso de coagulante saturará la superficie de los coloides, el saturado causará la re-estabilización de las partículas, lo que eventualmente crea la fuerza repulsiva entre los contaminantes y, por lo tanto, dificulta la formación de flóculos. Por lo tanto, es importante determinar la dosificación óptima para minimizar el costo de la dosificación y la formación de lodos y también para obtener el rendimiento óptimo en el tratamiento (Bahrodin et al., 2021; Saritha et al., 2017).

- **pH**

El pH es un factor muy importante en el proceso de coagulación, este interviene en la precipitación de los coloides, en el tiempo de floculación y la carga sobre las partículas coloidales. Además, el pH es un factor que influye en los mecanismos de coagulación al utilizar un coagulante determinado, esto se da debido a que, al agregar una sustancia coagulante, estas atraviesan por el proceso de hidrólisis donde se descompondrán en distintos compuestos. Estos compuestos resultados del proceso de hidrólisis son responsables de la eliminación exitosa de contaminantes. Un pH diferente produce diferentes compuestos de hidrólisis, los cuales son efectivos para un mecanismo determinado. Por ejemplo, el sulfato de aluminio en condiciones ácidas se disolverá para formar un ion de aluminio acuoso (Al^{3+}) que es eficaz en los mecanismos de compresión de doble capa y neutralización de carga. Mientras tanto, el sulfato de aluminio en condiciones alcalinas se disolverá en aluminato o hidróxido amorfo ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$) que forma una estructura similar a una red que es efectiva en el mecanismo de floculación de barrido. Si el pH no es óptimo, el proceso de coagulación es mínimo o pobre y genera más residuos que pueden llevar a otros

problemas, valores por encima o por debajo producen malos resultados, y también se ha demostrado que cuanto menor sea la dosis de coagulante, mayor será la sensibilidad del flóculo a variaciones de pH (Bahrodin et al., 2021; Lopera, 2019).

- **Turbidez inicial**

La turbidez inicial es un factor esencial que afecta el proceso de coagulación. La presencia de partículas coloidales, contaminantes del suelo, microorganismos abundantes, materia orgánica, materia en descomposición, compuestos coloreados (pigmentos y colorantes), las algas y el plancton provoca turbidez que afecta la claridad del agua. Durante el proceso de coagulación se produce una reacción entre los contaminantes con un coagulante para la formación de flóculos. Los coagulantes chocarán con los contaminantes y se aglomerarán para formar flóculos. Con una turbidez inicial alta estarán presentes más moléculas contaminantes que mejorará el número de colisiones entre el coagulante y los contaminantes. Un mayor número de colisiones producirán flóculos más grandes y resistentes que resultará en una sedimentación más rápida. Mientras tanto, con una turbidez inicial baja, se producirán menos colisiones entre el coagulante y el contaminante con lo cual da como resultado un flóculo más pequeño, aumentando así el tiempo de sedimentación (Alazaiza et al., 2022; Bahrodin et al., 2021).

- **Mezcla rápida**

La mezcla rápida es uno de los pasos importantes en el proceso de coagulación. El objetivo principal de esta etapa es distribuir uniformemente de manera inmediata el coagulante en el agua cruda. De esta manera, es importante identificar el tiempo y la velocidad óptimos para garantizar una homogeneidad en la dispersión de coagulantes y así prevenir el cizallamiento y desgarramiento de los flóculos formados. Por esto es importante identificar la velocidad óptima para el proceso, una velocidad de mezcla demasiado lenta no logra dispersar homogéneamente los coagulantes en el agua y los flóculos formados son frágiles y se rompen fácilmente. Los flóculos rotos reducirán la eficiencia de eliminación y aumentar la concentración de contaminantes en el agua. Mientras tanto, una velocidad de mezcla demasiado alta aumenta el cizallamiento y el desgarramiento de los flóculos formados. Esto ocasiona la reestabilización del contaminante y aumenta la concentración de los mismos en el agua. Además, los flóculos formados son más pequeños, más densos y con una menor porosidad lo que impide una mayor adsorción de contaminantes (Bahrodin et al., 2021). Según Ghernaout y Boucherit (2015) esta etapa tiene una fuerte influencia en la eficiencia general del proceso de coagulación, considerando que los productos de hidrólisis de los

coagulantes que contienen elementos metálicos como el aluminio o hierro se producen en un tiempo muy corto, aproximadamente de 10 segundos, por lo cual es importante hacer que los coagulantes metálicos se dispersen rápidamente en todo el volumen del fluido.

- **Temperatura**

La temperatura no es un parámetro crucial que afecta la eficiencia de la coagulación tanto como otros factores. Sin embargo, puede influir en el movimiento de las partículas y por consiguiente en el número de colisiones entre ellas. En el proceso de coagulación las partículas colisionan debido a los movimientos del fluido en el cual se encuentran suspendidas. De esta manera si el agua posee una alta viscosidad, a causa de una baja temperatura, causará que las interacciones entre el coagulante y las partículas sea pobre, disminuirá la solubilidad del coagulante retardando la energía cinética para la floculación de partículas, resultando con una deficiente coagulación que requerirá una mayor dosificación de coagulante y extender el tiempo de floculación para lograr una eliminación óptima de contaminantes. Generalmente, es preferible que el proceso de coagulación se lleve a cabo en un ambiente más cálido. En condiciones más cálidas, las partículas se moverán más rápido y las colisiones entre el coagulante y las partículas serán más frecuentes para la formación de flóculos más grandes y resistentes (Bahrodin et al., 2021; Charapaqui, 2019).

2.4.3 Proceso de Floculación

A continuación del proceso de coagulación tiene lugar un segundo proceso denominado floculación. El objetivo principal de este proceso es aglomerar las partículas desestabilizadas (microflóculos) para formar masas con un mayor tamaño y peso, para esto es necesario someter a los microflóculos a una agitación lenta que permite la unión de estos en agregados mayores (flóculos) para impedir la rotura y disgregación de los flóculos ya formados. Los flóculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial. La floculación tiene una relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas tengan contacto unas con otras, formando una malla que permite el crecimiento de partículas coaguladas, un flóculo lo suficientemente grande y pesado para ser removido en el proceso de sedimentación (Borda & Cahuata, 2021; Ordinola, 2019).

2.4.3.1 Cinética de la Floculación

Cuando se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se llevan a cabo una serie de reacciones hidrolíticas en las cuales se adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen a su vez oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que aumentan de tamaño con el tiempo. La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas, del estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su grado de desestabilización, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia (Castrillón & Giraldo, 2012).

El contacto puede llevarse a cabo por dos maneras distintas:

- **Floculación pericinética**

El desplazamiento aleatorio de partículas en movimiento browniano como resultado de la energía térmica del sistema se denomina pericinético. En aplicaciones prácticas, la floculación pericinética solo es importante para partículas muy pequeñas ($< 1 \mu\text{m}$) donde son bombardeadas continuamente por las moléculas de agua circundantes. Bajo esta condición predominante, la tasa de crecimiento de los flóculos no puede ser lo suficientemente óptima para una separación de fases eficaz (Oyegbile et al., 2016).

- **Floculación ortocinética**

En la floculación ortocinética, es necesaria una fuente externa de energía para promover las colisiones entre partículas, que generalmente tienen un tamaño superior a $1 \mu\text{m}$. La energía añadida genera gradientes de velocidad en el flujo, tanto en flujo laminar como turbulento. El gradiente de velocidad es dependiente de la naturaleza del flujo de fluido. En el flujo de corte laminar, el gradiente de velocidad permanece constante, mientras que, en el flujo turbulento, hay una rápida fluctuación del mismo. La floculación ortocinética es comúnmente utilizada en el proceso de tratamiento de agua dentro de las unidades de floculación, en las que la agitación de la masa líquida debe ser lo suficientemente alta para asegurar el contacto entre las partículas (Oyegbile et al., 2016; Soares & Bravin, 2019).

2.4.3.2 Factores que influyen en el proceso de Floculación

- **Tiempo de retención**

El tiempo de retención es el tiempo en el que el agua permanece en las unidades de floculación o floculadores, este es un factor esencial en la etapa de floculación debido a que la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de retención. Si el tiempo de permanencia del agua dentro del floculador es menor o mayor al tiempo teórico

óptimo puede provocar deficiencias en el proceso de tratamiento de agua. El tiempo óptimo de retención se determina mediante el ensayo de prueba de jarras (Guzmán Rivas, 2017).

- **Gradiente de velocidad**

El proceso de floculación es afectado por la magnitud del gradiente de velocidad generado. En la floculación el gradiente de velocidad es importante debido a que puede producir el contacto óptimo entre partículas, sin embargo, si el gradiente tiene un valor demasiado alto puede producir ruptura de los flóculos formados. Además, el gradiente de velocidad es un factor que depende de la tasa de aglomeración de partículas, es decir, si se aumenta el gradiente de velocidad se puede alcanzar una tasa de aglomeración más rápida (Luo, 1997).

- **Concentración y naturaleza de las partículas**

Los iones que se encuentran presentes en el agua intervienen en el equilibrio físico – químico del sistema, en la formación de cadenas poliméricas de los grupos hidroxilo y en la interacción que se da entre las partículas coloidales y los polímeros. La concentración y la naturaleza de las partículas también muestran una influencia en la velocidad de floculación debido a que esta depende del tamaño inicial de estas (Rojas Albeláez & Torrado Lemus, 2007).

2.5 Coagulantes

Los coagulantes según Sverguzova et al. (2019) son sustancias químicas que se añaden al agua con el propósito de conseguir la descarga de las partículas coloidales mediante una disminución de su carga superficial, tras lo cual las partículas pueden aproximarse unas a otras dando origen a la formación de partículas más grandes (flóculos), que sedimentan más fácilmente.

2.5.1 Coagulantes metálicos

Los coagulantes metálicos, también llamados coagulantes inorgánicos, generalmente se basan en compuestos de aluminio y hierro. La adición de este tipo de coagulantes al agua produce una amplia gama de hidróxidos con diferentes grados de hidrólisis. La desestabilización que se produce por coagulantes metálicos se logra a través de todos los mecanismos de coagulación: compresión de doble capa, adsorción y neutralización de carga, adsorción y puente, y atrapamiento de partículas en un precipitado. El mecanismo por atrapamiento de partículas en un precipitado es más dominante en los coagulantes a base de metales debido a la formación de precipitados de hidróxido de metal que atrapan partículas, haciéndolas más fáciles de eliminar. Los coagulantes metálicos son los más

utilizados en el mundo por su efectividad, disponibilidad y costo relativamente bajo, además, son más fáciles de implementar y optimizar, lo que contribuye a su popularidad. Entre los coagulantes metálicos más utilizados son: sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, clorhidrato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de polialuminio, cloruro de sulfato de polialuminio, cloruro de silicato de polialuminio, cloruro de polialuminio con polímeros orgánicos, sulfato férrico, cloruro férrico, sulfato ferroso, sulfato poliférrico, sulfato de cloruro y sales férricas con polímeros orgánicos (Slinning, 2020).

2.5.1.1 Sales de Aluminio

- **Sulfato de Aluminio**

El sulfato de aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, es el coagulante metálico más utilizado en el tratamiento de potabilización del agua. Este se obtiene por la evaporación del agua durante la digestión de minerales de bauxita con ácido sulfúrico, de este proceso se produce dos compuestos de fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ con una composición distinta, estos productos se conocen como sulfato de aluminio tipo A y sulfato de aluminio tipo B, se diferencian uno de otro por su composición (Lopera, 2019), tal y como se indica en la tabla 1:

Tabla 1
Composición del sulfato de aluminio tipo A y tipo B

Parámetro	Composición de Sulfato de Aluminio Tipo A	Composición de Sulfato de Aluminio Tipo B
% Al_2O_3 (mín)	17%	16%
% Hierro como Fe_2O_3 (máx)	0,75%	1,6%
% Materia insoluble (máx)	0,5%	5 %

Fuente: (Lopera, 2019).

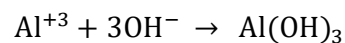
De acuerdo a Castrillón y Giraldo (2012) el sulfato de aluminio puede ser empacado de diversas maneras: en polvo, molido, en terrones, en granos similares al arroz y de forma líquida. Este producto se encuentra disponible en todo el mundo con un costo accesible porque es sencillo de producir. Por esta razón la mayoría de plantas de tratamiento están diseñadas para operar con este compuesto, el personal de las plantas debe estar capacitado para utilizar el mismo debido a que es una sustancia irritante, que lesiona las mucosas y puede causar hemorragias severas.

Cuando el sulfato de aluminio en solución es adicionado en el agua, las moléculas se disocian en Al^{3+} y SO_4^{2-} . El Al^{3+} puede interactuar con los coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal (Lopera, 2019).

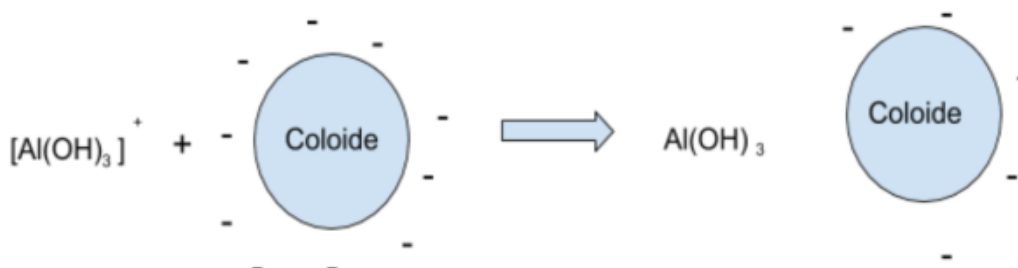
Figura 5*Reacción entre el ion Al^{3+} y una partícula coloidal*

Fuente: (Lopera, 2019).

El Al^{3+} también puede reaccionar con los grupos hidroxilo (OH^-) del agua para formar hidróxido de aluminio.

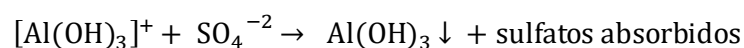


Este hidróxido de aluminio tiene un comportamiento coloidal, debido a que absorbe iones positivos en solución para formar una partícula cargada positivamente. Esta partícula neutraliza la carga negativa de los coloides y favorece la aglomeración (Lopera, 2019).

Figura 6*Reacción entre $[Al(OH)_3]^+$ y una partícula coloidal*

Fuente: (Lopera, 2019).

Generalmente durante este proceso se produce un exceso de hidróxido de aluminio, el cual precipita, pero es eliminado por acción de los iones sulfato y otros iones negativos presentes en el agua (Romero Escobar, 2022).



Los iones metálicos de aluminio que se disocian reaccionan en el momento en que se ponen en contacto con el agua formando iones e hidrógeno; los iones permanecen libres o se

combinan con otros cationes. Estos iones son absorbidos por el coloide y neutralizan su carga negativa logrando así la coagulación y posterior precipitación (Romero Escobar, 2022).

Para que este proceso sea eficiente se debe asegurar que todo el sulfato de aluminio añadido se distribuya homogéneamente en toda la masa de agua presente, esto se consigue a través de la mezcla rápida, de esta manera se disminuye el tiempo de formación de otras sustancias no deseadas y aumenta el contacto del coagulante (Lopera, 2019).

- **Policloruro de aluminio**

El policloruro de aluminio es una sal inorgánica de aluminio multinuclear que es producido al adicionar una base al cloruro de aluminio hasta obtener la fórmula empírica $\text{Al}(\text{OH})_n\text{Cl}_{3-n}$, donde n puede tomar valores dentro del rango de 1 a 2.5. El policloruro de aluminio se caracteriza por su contenido de aluminio (expresado en porcentaje de Al_2O_3), contenido de sulfatos (expresado en porcentaje de SO_4) y contenido de hidróxido (expresado en porcentaje de basicidad). La basicidad hace referencia al número de iones hidróxido por átomos de aluminio en las moléculas de policloruro de aluminio (OH/Al^+), y es utilizado como un índice del grado de polimerización (Pérez Caldera, 2018).

Los beneficios que ofrece el policloruro de aluminio según Sierra y Guatame (2016) son: una mejor formación de flóculo, un rango más amplio de pH, menor generación de lodos y poca o ninguna necesidad de utilizar polielectrolitos. Su desventaja principal es que tiene un mayor costo que el sulfato de aluminio.

2.5.1.2 Sales de Hierro

- **Cloruro férrico**

El cloruro férrico, también denominado tricloruro de hierro, es un químico perteneciente al grupo de los haluros metálicos cuya fórmula es su fórmula es FeCl_3 . Es un producto muy versátil con una alta capacidad para desarrollar flóculos. Este coagulante al ser una sal débil cuando se pone en contacto con el agua se produce hidróxido férrico insoluble. El cloruro férrico presenta ciertas ventajas en relación con otros coagulantes como su efectividad en amplios rangos de temperatura y pH (4 – 11). Además, puede crear iones trivalentes con un mayor peso molecular, los cuales son necesarios en el proceso de coagulación (Alvarado Pacheco & Mayancela Santander, 2022). Sin embargo, es importante mencionar que este coagulante suele utilizarse más con agua ácida y blanda, fuertemente coloreada y que contiene ácido sulfhídrico. Además, los lodos provenientes de la coagulación son muy corrosivos, tienden a desarrollar un color café oscuro y manchan los objetos y las corrientes

de agua convirtiéndose en compuestos difíciles de manejar, siendo esta su principal desventaja (Romero Escobar, 2022).

- **Sulfato férrico**

El sulfato férrico tiene por fórmula $[Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O]$, es un compuesto con un color gris rojizo o blanco grisáceo. Este necesita de la alcalinidad presente en el agua para formar las partículas de hidróxido férrico $Fe(OH)_3$. Cuando la alcalinidad natural no es lo suficientemente alta, se deben agregar sustancias químicas alcalinas. El sulfato férrico presenta algunas ventajas frente al sulfato de aluminio. Por ejemplo, Ordoñez y Torres (2022) mencionan que las partículas de aglomerado de los hidróxidos férricos tienen una mayor densidad que los aglomerados con sulfato de aluminio y se eliminan más fácil o rápidamente por sedimentación. Además, el sulfato férrico es apto para trabajar en un rango de pH más amplio, generalmente de 3,5 a 9. Una de las principales desventajas que presenta es que en solución el sulfato férrico es corrosivo y puede reaccionar con compuestos orgánicos para formar hierro soluble (Fe^{+2}).

- **Sulfato ferroso**

El sulfato ferroso utilizado dentro del tratamiento de agua es un polvo de color verde. Su contenido en hierro es de aproximadamente 19 % y debido a su naturaleza ácida, su pH en solución acuosa es de aproximadamente 2,8. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación es recomendable usar material de plástico (Vielman, 2019). El sulfato ferroso es el coagulante más económico en comparación con otros coagulantes metálicos a base de sales de hierro, se encuentra comúnmente en forma hidratada como $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Se usa para aguas turbias, fuertemente alcalinas, con pH superiores a 8 (Pérez Beltrán, 2017).

2.5.2 Polielectrolitos

Los polielectrolitos o coagulantes poliméricos son compuestos con un elevado peso molecular que está conformado por múltiples grupos funcionales activos, esto con la finalidad de que la macromolécula formada mantenga su configuración inicial. Estas sustancias son consideradas como ayudantes del proceso de coagulación, son eficaces en un amplio rango de pH y generalmente se aplican en dosis muy bajas (0,01 – 1,0 mg/L) debido a su elevado costo (Basantes, 2016). Los polielectrolitos se clasifican en: catiónicos, aniónicos y no iónicos.

Catiónicos

Los polielectrolitos catiónicos se encuentran cargados positivamente, su peso molecular se encuentra entre 104 – 106 g/mol, son resistentes al cloro, su eficiencia no se ve alterada por los cambios de pH, y se pueden utilizar junto a coagulantes inorgánicos. Su larga cadena se encuentra compuesta por grupos aminos y aminos cuaternarios que tienen la capacidad de remover la turbiedad y color del agua y acondicionar los lodos generados (Carrera & Infante, 2015).

Aniónicos

Los polielectrolitos aniónicos poseen una carga negativa en su estructura, eliminan partículas cargadas positivamente y son más eficientes en rangos de pH altos. Se pueden utilizar en el tratamiento de aguas residuales municipales y efluentes de industrias de procesamiento de minerales, curtidos, procesamiento de azúcar, producción de papel, procesamiento de metales. La mayoría de este tipo de coagulantes aniónicos comerciales presentan iones carboxilato y sulfonato en su estructura como grupos funcionales y son a menudo co - polímeros de acrilamida (Lourenço et al., 2018).

No iónicos

Los polielectrolitos no iónicos tienen una carga neutra que al disolverse producen iones tanto positivos como negativos, a diferencia de los polielectrolitos catiónicos y aniónicos requieren de dosis mayores que van alrededor de 1 a 10 mg/l (Rodríguez Salcedo, 2008). Según Shatat et al. (2018) de los muchos polímeros no iónicos disponibles en la actualidad, la poliacrilamida (PAM) y sus derivados se encuentran entre los más importantes y ampliamente utilizados. Este polielectrolito no tiene grupos cargados unidos a su cadena y se utilizan principalmente como coadyuvante del proceso de coagulación en el tratamiento de agua potable y aguas residuales.

2.5.3 Coagulantes naturales

Los coagulantes naturales o de origen natural denominados también biocoagulantes son compuestos bioactivos que tiene la propiedad de desestabilizar los contaminantes presentes en el agua por la acción de cationes y aniones. Sus componentes bioactivos incluyen proteínas, polisacáridos, mucílagos, taninos y alcaloides (Poveda, 2022).

Los coagulantes naturales han sido reconocidos por su acción en la purificación de aguas locales tradicionales. Son sostenibles, respetuosos con el medio ambiente, y menos tóxicos que los coagulantes químicos. Los coagulantes naturales han captado la atención de la comunidad científica en las últimas décadas debido a sus importantes beneficios para la salud

y el medio ambiente, y resuelve la mayoría de los problemas comunes asociados con coagulantes químicos. Sin embargo, el uso industrial de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas es limitado. Esto se debe principalmente a la consistencia del rendimiento de los compuestos extraídos de fuentes naturales (Nimesha et al., 2022).

2.5.3.1 Tipos de coagulantes naturales

Los coagulantes naturales son producidos o extraídos de diferentes fuentes tales como microorganismos, animales y plantas (de origen no vegetal y de origen vegetal) (Nimesha et al., 2022).

- **De origen no vegetal**

Los coagulantes naturales de origen no vegetal son usualmente extraídos de exoesqueletos de ciertos animales como mariscos, caparazones de langostas, camarones, insectos, cangrejos, diatomeas, moluscos, y esponjas marinas y de agua dulce. El coagulante de origen no vegetal mayormente estudiado ha sido el quitosano, el cual es un co-polímero lineal producido por la desacetilación de la quitina. Se encuentra naturalmente como un azúcar complejo (polisacárido), es de carácter hidrofílico, biodegradable, ambientalmente seguro, y capaz de absorber varios iones metálicos de manera eficiente ya que contiene grupos amino en su cadena polimérica (Koul et al., 2022). Según Murillo et al. (2020) el quitosano se ha empleado ampliamente en aguas industriales y en menor medida en el tratamiento de agua potable. El porcentaje de remoción de turbidez de este coagulante es del 98% a escala de laboratorio y con valores bajos de turbidez (< 90 NTU).

- **De origen vegetal**

Los coagulantes naturales de origen vegetal son extraídos de semillas, hojas, cortezas de árboles y raíces (García Montalvo & Cervantes Matías, 2017); debido a la presencia de proteínas solubles dentro de su estructura actúan en el proceso como un polielectrolito catiónico natural, esta capacidad puede ser incrementada cuando se emplean sales inorgánicas como pre-tratamiento (Molina et al., 2016).

Los coagulantes derivados de las plantas se encuentran más disponibles que los coagulantes obtenidos a partir de animales. Las macromoléculas como las proteínas, los polisacáridos y algunos grupos funcionales promueven el proceso de coagulación a través de los mecanismos de adsorción, puente de polímeros y neutralización de carga. Suelen ser efectivos en el tratamiento de agua, con turbidez comprendida en el rango de 50–500 NTU. Sin embargo, la eficacia de los coagulantes naturales se puede mejorar mediante la

optimización de la extracción y procesos de purificación de estos coagulantes, lo que conduciría a una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes (Koul et al., 2022).

2.5.3.2 Beneficios

Los coagulantes naturales, especialmente los de origen vegetal, han llamado la atención de los científicos en las últimas décadas debido a los beneficios que poseen, estos se presentan en la tabla 2.

Tabla 2
Beneficios de los coagulantes naturales

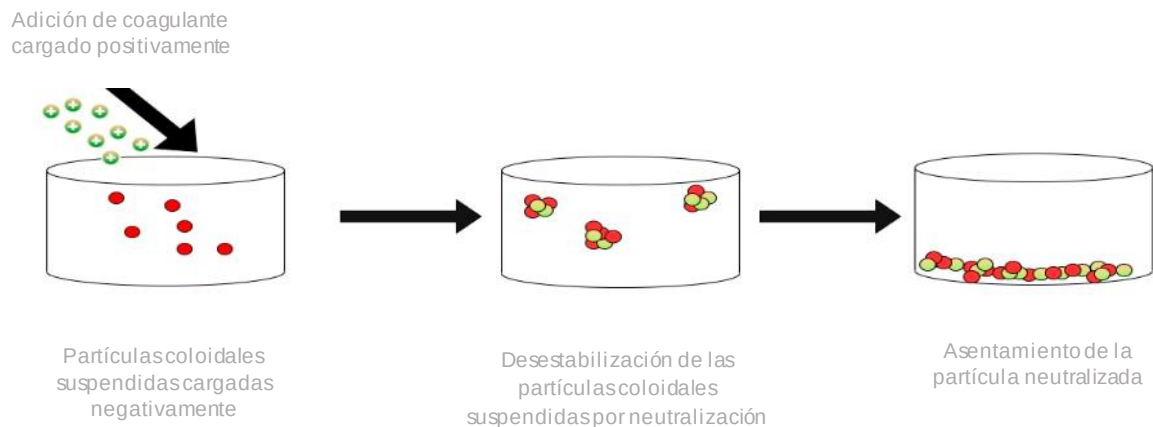
Aspecto	Beneficio
Técnico	• Poseen disponibilidad de materia prima de obtención (biomasa de desecho, a productos naturales o incluso microorganismos) (Ang & Mohammad, 2020). • No necesitan un ajuste de pH y alcalinidad (Castellanos & Martin, 2020). • No son corrosivos por lo cual no dañan las tuberías (Choy et al., 2014).
Ambiental	• Se consideran no tóxicos y seguros debido a su origen natural (Pandey & Khan, 2023). • Genera una cantidad menor de lodos y al mismo tiempo no contribuyen a la toxicidad del mismo (dos Santos et al., 2018).
Económico	• Son considerados baratos ya que se pueden extraer de biomasa de bajo coste (Ang & Mohammad, 2020). • Reducción de coste en tratamiento y disposición de lodos (Choy et al., 2014).
Social	• Se pueden obtener localmente con lo cual pueden ser útiles para las personas que no tienen acceso a agua limpia, especialmente aquellos que habitan en áreas rurales o regiones que tienen restricciones financieras para el suministro adecuado de agua limpia (Ang & Mohammad, 2020).

Fuente: Autoría propia.

2.5.3.3 Mecanismo de coagulación de los coagulantes naturales

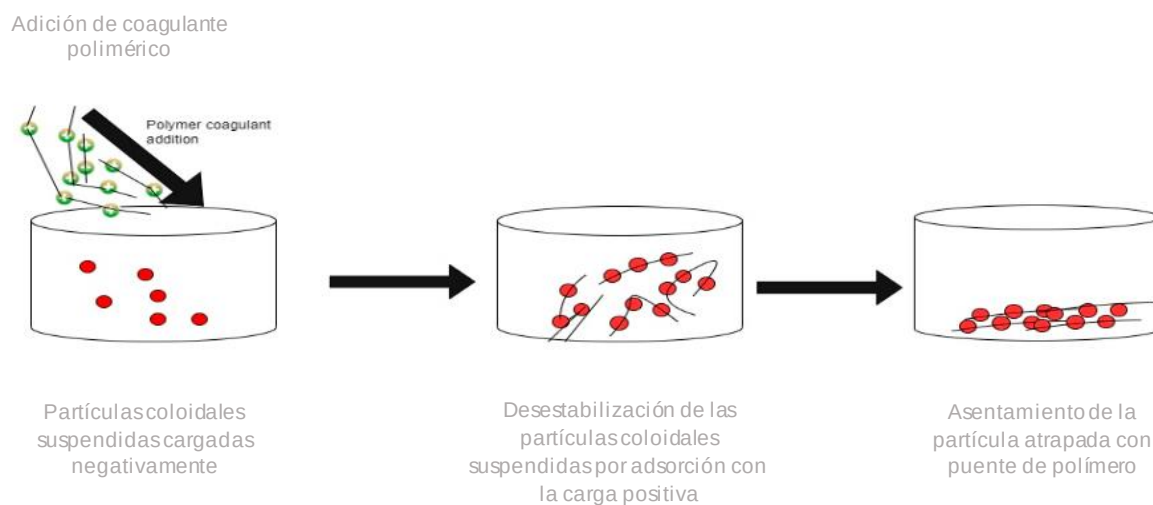
El mecanismo de coagulación que predomina en los coagulantes naturales es diferente de los coagulantes de tipo metálicos, debido a que los coagulantes naturales no generan precipitados de hidróxido. El mecanismo de neutralización de cargas y puente entre partículas son los dos mecanismos dominantes para la formación de flóculos y la remoción de contaminantes (Ortega et al., 2021). El mecanismo de acción de los coagulantes naturales es similar al de los polielectrolitos y contienen una variedad de grupos funcionales como $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$ y $-\text{NH}_2$ (Koul et al., 2022). El esquema de la representación de los mecanismos de coagulación dominantes se muestra en la figura 7.

Figura 7
Mecanismo de neutralización de carga



Fuente: (Koul et al., 2022).

Figura 8
Mecanismo de adsorción y puente



Fuente: (Koul et al., 2022).

2.6 Papa

2.6.1 Generalidades

Es un alimento básico, debido a su sabor, textura, forma una parte importante en la alimentación de los seres humanos, por lo cual se podría decir que es uno de los principales alimentos consumidos por todo el mundo, los incas hace 8000 años la cultivaban y era su alimento principal, además existen cerca de 5000 variedades de papa. Posterior a la cosecha contiene en promedio cerca del 80 % que es agua, 20 % es materia seca (60% de ésta es almidón) (Aquino & Tovar, 2021).

La papa (*Solanum Tuberosum*) pertenece a la familia Solanaceae, es una planta herbácea, contiene un sistema aéreo y subterráneo, de naturaleza rizomatosa del cual se forman los tubérculos. La papa es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, entre los cuales está el cultivo de arroz, trigo y maíz (Márquez et al., 2020). Márquez, Salomón, Acosta (2020) mencionan que aproximadamente la producción a nivel mundial es de 377 millones de toneladas, y cubre alrededor de 19 millones de hectáreas.

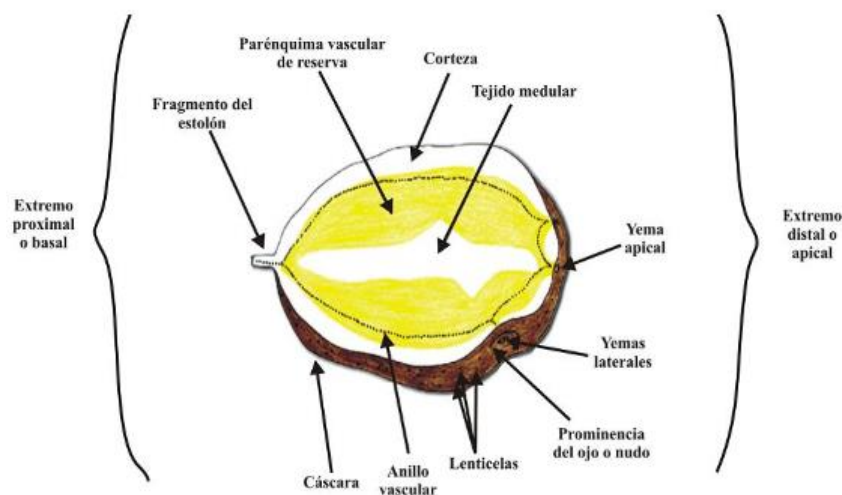
2.6.2 Cultivo de papa en Ecuador

En el Ecuador, la papa es un producto esencial por su papel en la dieta diaria de la población, especialmente de la región interandina, además, es una importante fuente de ingresos para las localidades rurales y es considerado un elemento fundamental para la economía nacional (Romero Larrea & Gutiérrez Albán, 2019). Según Araujo Jaramillo et al. (2021) se cultiva papa entre los 2 800 hasta los 3 500 metros sobre el nivel del mar. Se identifican tres regiones que se dedican a su cultivo: al norte, en las provincias de Carchi e Imbabura; en el centro, en Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar; y al sur, en Cañar, Azuay y Loja. En 2022, la papa fue uno de los cultivos de mayor producción a nivel nacional junto con el maíz duro seco y arroz en cáscara, la superficie sembrada de papa a nivel nacional fue de 19.390 hectáreas. La producción se concentra en la provincia del Carchi con el 43,5 % (INEC, 2023).

2.6.3 Cáscara de papa

La cáscara de la papa representa el 2% del tubérculo, el resto lo conforma el parénquima vascular de almacenamiento con el 75% y la médula con alrededor del 15 – 20% (Espíritu & Ramos, 2020).

Figura 9
Partes internas y externas del tubérculo de papa



Fuente: (Flores-Gallardo, 2007).

La cáscara de papa, dentro de la industria, generalmente es considerada un residuo "sin valor"; sin embargo, en la actualidad se han realizado varias investigaciones en donde se comprueba que la cáscara no es un desperdicio, sino que puede ser utilizado de diversas maneras, es así que se ha demostrado que la cáscara se puede emplear como aditivo para distintos productos alimenticios, para la producción de amilasas, para la fabricación de bioplásticos, para la remoción de contaminantes en el agua, entre otras aplicaciones. La mayoría de aplicaciones que tiene la cáscara de papa se debe a su composición, pues este posee un abundante contenido de almidón, el cual tiene una viscosidad mayor a los almidones de maíz y trigo (Aquino & Tovar, 2021).

2.6.4 Almidón de papa

El almidón se encuentra en abundancia en el reino vegetal y se puede extraer con relativa facilidad, ya que constituye la mayor reserva de carbohidratos de las plantas (Espíritu & Ramos, 2020).

En la papa el almidón constituye la principal fuente de almacenamiento de energía, y su contenido varía dependiendo de los cultivares y estado de crecimiento de la planta, aunque generalmente su contenido se encuentra entre 15% y 20% en todo el tubérculo, incluyendo la cáscara, aunque en menor cantidad (Bravo & Chavarría, 2020).

2.6.4.1 Composición del almidón

La molécula de almidón está compuesta por dos polímeros de glucosa de diferentes estructuras denominadas amilosa y amilopectina, que, dependiendo de la composición y arreglo estructural, confieren propiedades fisicoquímicas y térmicas únicas característica de cada fuente de origen (Hurtado, 2019).

- **Amilosa:** La amilosa está conformada principalmente de cadenas de restos de α -D-glucopiranosilo unidas por enlaces α -(1 $\rightarrow$ 4). El peso molecular varía entre 1×10^5 y 1×10^6 Dalton y puede contener entre 500 y 6000 unidades de glucosa. La naturaleza lineal y de gran longitud le brindan a la amilosa algunas propiedades únicas, como su capacidad para formar complejos con yodo, alcoholes o ácidos orgánicos y su comportamiento a asociarse consigo misma (Marín, 2016).
- **Amilopectina:** La amilopectina se encuentra formada por α -D-glucosa, conformada principalmente por enlaces α -(1 $\rightarrow$ 4). Se encuentra mucho más ramificada que la amilosa. El peso molecular es del orden de 10^8 Da, con aproximadamente 600 000 restos de glucosa y se encuentra ramificada al azar (Marín, 2016).

2.6.4.2 Propiedades funcionales del almidón

- **Gelatinización**

La gelatinización según Cajiao et al. (2016) es un cambio físico característico del almidón, este consiste en una transición estructural de orden – desorden que experimentan las cadenas poliméricas cuando se someten a procesos de calentamiento en ambientes húmedos y acuosos. Este proceso es irreversible y se caracteriza porque los granos de almidón se unen para formar una red polimérica, a este cambio se le conoce como la hinchazón granular, después del hinchamiento toma lugar la deformación y destrucción del gránulo lo que da paso a la solubilización de sus componentes químicos (amilosa y amilopectina) (Romero Shiguango, 2019).

- **Gelificación**

Esta etapa se origina en la etapa de enfriamiento de la solución, es decir, ocurre después del proceso de gelatinización. En esta etapa las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse mediante la formación de enlaces intermoleculares entre las moléculas de amilosa (Aristizábal & Sánchez, 2007).

- **Retrogradación**

La retrogradación se produce al disminuir la temperatura de un almidón gelatinizado y consiste en la insolubilización y precipitación de las moléculas de amilosa, en donde sus

cadenas lineales se orientan de manera paralela a través de puentes de hidrógeno (Calabokis, 2020). Dependiendo del contenido de amilosa y amilopectina, cada almidón tendrá una tendencia diferente a la retrogradación, estas pueden ser dilatación de las cadenas debido al rompimiento de los enlaces intermoleculares, pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y una formación de enlaces de hidrogeno entre moléculas adyacentes formando una estructura cristalina (Aristizábal & Sánchez, 2007).

3. Metodología

Este trabajo de investigación se basó en averiguar cómo actúan los residuos de papa (cáscara de papa) en la remoción de turbidez y color en agua destinada a consumo humano. Para esto se aplicaron diferentes métodos experimentales con la finalidad de caracterizar los residuos de la cáscara de papa, en la que se determinó el porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, contenido de almidón y proteínas, así como también la turbiedad y color del agua de estudio en función de los coagulantes evaluados: natural y comercial.

3.1 Descripción del área de estudio

El desarrollo del trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Suelos, laboratorio de Prácticas de Análisis Bromatológico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca y en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay de la ciudad de Azogues.

Figura 10

Localización de la Planta de Potabilización EMAPAL EP - Mahuarcay



Nota. El gráfico representa la localización de la planta en donde se realizó el estudio con las coordenadas respectivas de (-2.713194, -78.833900). Adaptado de *Google Maps* [Fotografía], por Imágenes ©2023 CNES/ Airbus, Maxar Technologies, Datos del Mapa

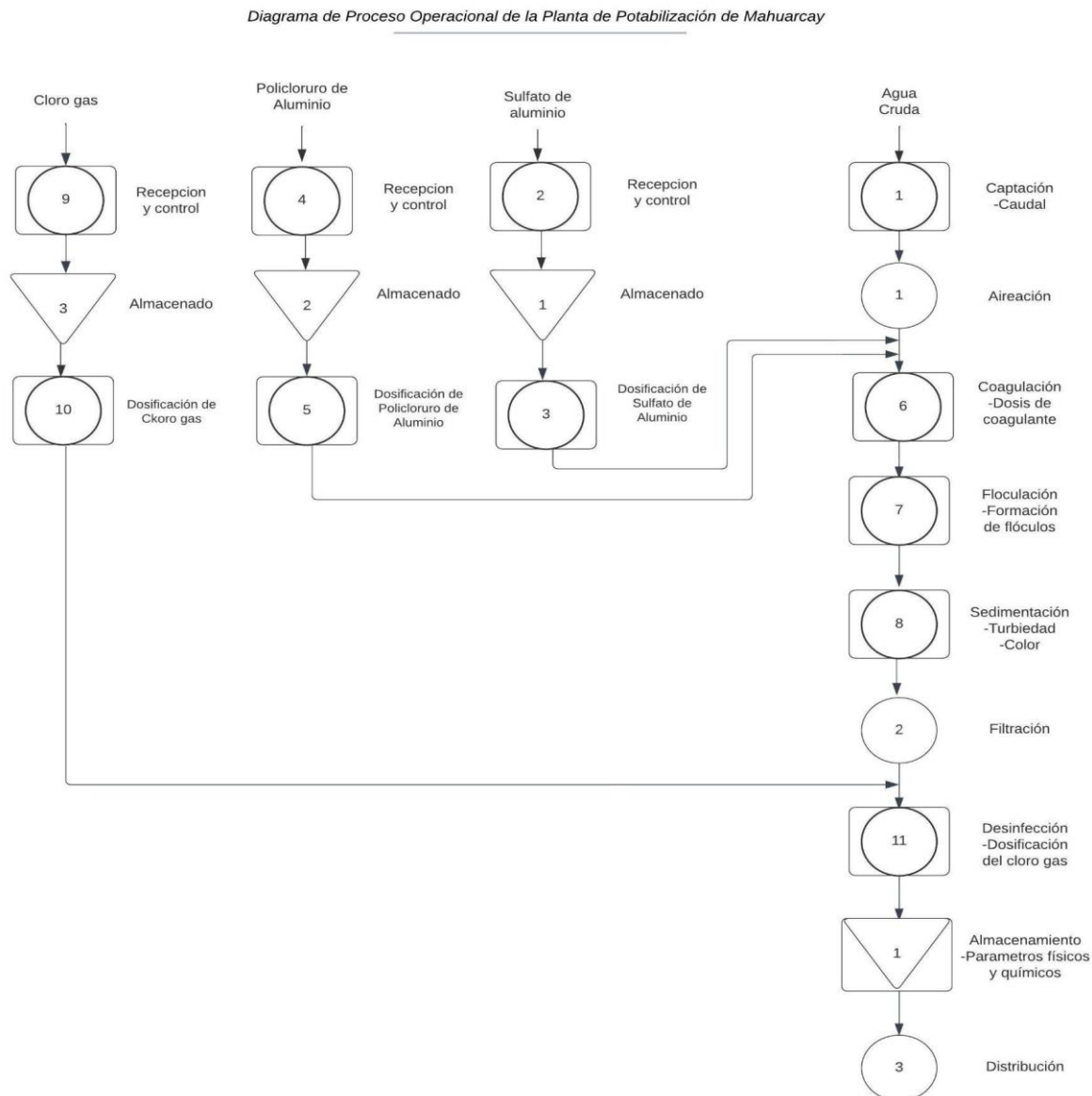
©2023,Google(<https://www.google.com.ec/maps/@-2.7132823,-78.8351665,391m/data=!3m1!1e3?hl=es&entry=ttu>).

La Planta de Tratamiento de Mahuarcay lleva a cabo los siguientes procesos dentro de la potabilización del agua:

- Captación
- Aireación
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección
- Almacenamiento y Distribución

Figura 11

Diagrama de Proceso Operacional de la Planta de Potabilización de Mahuar cay



Nota. El gráfico representa los procesos de tratamiento del agua potable en la planta de Mahuar cay, además de los químicos añadidos en los procesos. Fuente: Autoría propia.

3.2 Obtención del coagulante natural

Recepción

Las cáscaras de papa se obtuvieron en el local comercial de comida rápida Dog'Osos, el cual se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, en la ciudad de Cuenca, estas fueron almacenadas en sacos y trasladadas al laboratorio para su análisis. Se recolectó un total de 8,3325 kg de cáscaras de papa.

Selección y lavado

Posterior a su obtención se seleccionaron aquellas cáscaras que presentaron mejores condiciones de estado, es decir, sin presencia de descomposición y putrefacción, estas fueron lavadas con abundante agua para eliminar la suciedad (restos de tierra) que estas contenían (Aquino & Tovar, 2021).

Cortado

Las cáscaras de papa se redujeron de tamaño a una medida aproximada de dos a tres centímetros según lo propuesto por Aquino y Tovar (2021), y se colocaron en bandejas de aluminio para su posterior proceso.

Secado

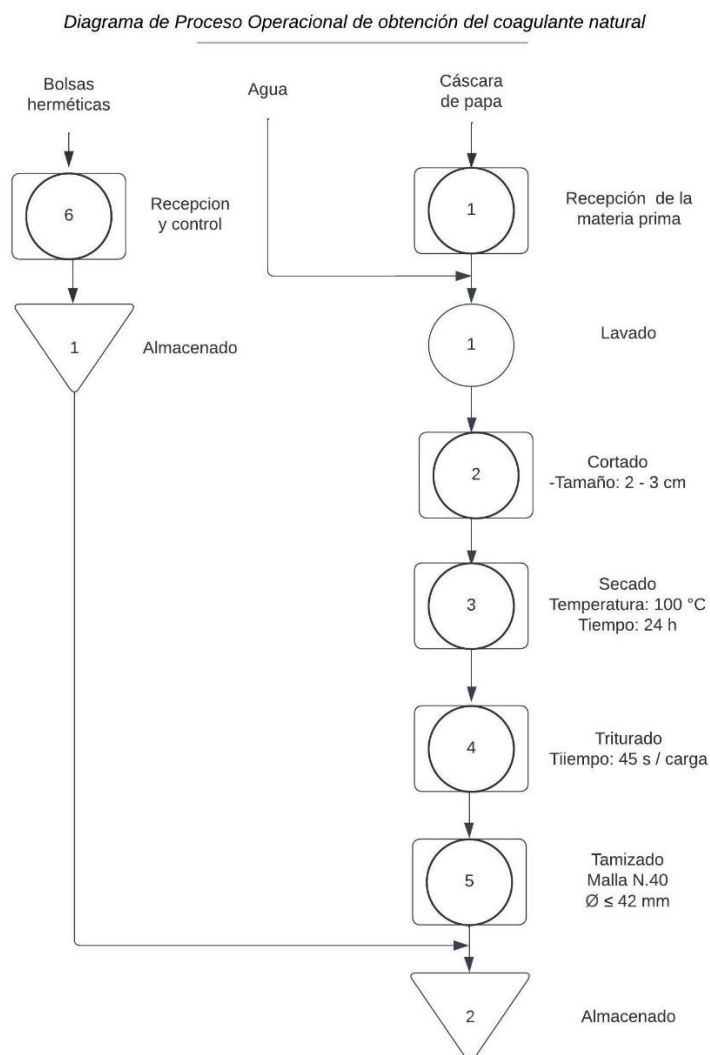
Las bandejas de aluminio con las cáscaras de papa se introdujeron en una estufa marca Ecocell - 222 - Confort - Blue - Line a una temperatura de 100°C ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) durante 24 horas, estos parámetros se escogieron de acuerdo a lo propuesto por Alvarado Carmona (2012) y replicado por Camacho-Oviedo et al. (2020).

Triturado

Las bandejas con las cáscaras de papa secas fueron retiradas del equipo de secado y posteriormente las cáscaras secas se colocaron en un molinillo eléctrico casero marca Bennett Read para ser trituradas, esto según lo planteado por Aquino & Tovar (2021). Este proceso fue realizado en períodos de carga de acuerdo a la capacidad del equipo, el tiempo de triturado fue de 45 segundos por carga de acuerdo a las indicaciones del equipo.

Tamizado

El polvo posterior al triturado fue tamizado en un tamiz malla N.40 para obtener un diámetro de partícula inferior o igual a 0,42 mm, posteriormente lo que se obtuvo del proceso fue almacenado en bolsas de plástico herméticas (Carrasquero et al., 2017).

Figura 12*Diagrama de Proceso Operacional de obtención del coagulante natural*

Nota. El gráfico representa los procesos para la elaboración del coagulante natural. Fuente: Autoría propia.

3.3 Caracterización del coagulante natural

El coagulante natural de cáscara de papa obtenido se caracterizó mediante la determinación de los parámetros de humedad, cenizas, proteína y almidón.

3.3.1 Determinación de Humedad

El porcentaje de humedad fue determinada de acuerdo a la norma NTE INEN 518.

Procedimiento

Se determinó el peso de una cápsula de porcelana vacía, después se pesó 2g de muestra en la cápsula previamente acondicionada, posterior se colocó la cápsula con la muestra en la estufa y se calentó a 130°C, durante 1 h en la estufa marca Ecocell. Luego se retiró la muestra y se colocó en el desecador a que se enfríe y se procedió a pesar en la balanza analítica marca Sartorius. Las operaciones de calentamiento, enfriamiento y pesaje se realizaron hasta que la diferencia de peso no exceda de 0,1 mg. Finalmente se determinó el porcentaje de humedad mediante la Ecuación 1. Este ensayo se realizó por duplicado (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1981a).

$$P_c = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

P_c : Pérdida por calentamiento, en porcentaje de masa.

M_1 : Masa del pesafiltro vacío con tapa, en g.

m_2 : Masa del pesafiltro y tapa, con la muestra sin secar, en g.

m_3 : Masa del pesafiltro y tapa, con la muestra seca, en g

Figura 13

Estufa



Fuente: Autoría propia.

3.3.2 Determinación de Cenizas

Mediante el procedimiento planteado en la NTE INEN 520 se determinó las cenizas en el coagulante natural.

Procedimiento

Se colocó una cápsula de porcelana vacía a la mufla marca Thermolyne a 550°C aproximadamente durante 30 min. Después se retiró la cápsula y se colocó en el desecador y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, posteriormente se pesó la cápsula vacía y se colocó 4 g de muestra en la misma. Se vuelve a colocar la cápsula con la muestra en la mufla hasta obtener cenizas de un color gris claro, con la precaución de que la muestra no se fundiera. Se sacó el crisol con la muestra, se colocó en el desecador y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y finalmente se determinó el peso del crisol con la muestra calcinada. Se determina la cantidad de ceniza mediante la Ecuación 2. Este ensayo se realizó por duplicado (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2013).

$$C = \frac{100(m_3 - m_1)}{(100 - H)(m_2 - m_1)} \quad (2)$$

Dónde:

C : Contenido de cenizas, en porcentaje de masa.

m_1 : Masa del crisol vacío, en g.

m_2 : Masa del crisol con la muestra, en g.

m_3 : Masa del crisol con las cenizas, en g.

H : Porcentaje de humedad en la muestra.

Figura 14
Mufla



Fuente: Autoría propia.

3.3.3 Determinación de Proteínas

La determinación de proteínas se realizó llevando a cabo el procedimiento planteado en la NTE INEN 519.

Procedimiento:

- **Digestión:** Se pesó 1 g de muestra y se colocó en el balón Kjeldahl, se agregó la mezcla catalizadora y 25 ml de H_2SO_4 . Se realizó la digestión hasta que se observó un líquido translúcido y de color débilmente verdoso o azul verdoso. Finalmente se dejó enfriar, se colocó en el balón de aforo de 250 ml y se aforó. Esta etapa llevó alrededor de 4 a 5 horas (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1981b).
- **Destilación:** Se tomó una alícuota de 25 ml de muestra y se colocó en el tubo de destilación, se colocó la muestra en el equipo de destilación. Por otro lado, se colocó en un erlenmeyer de 250 ml unos 10 ml de ácido sulfúrico 0.1N, se añadió 2 gotas de rojo tashiro como indicador y se colocó a la salida del refrigerante, posteriormente se procedió a destilar. Finalmente se valoró el destilado con una solución de NaOH 0.1N. El porcentaje de proteína se calculó mediante la Ecuación 3. Este ensayo se realizó por duplicado (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 1981b).

$$P = (1,40)(F) \frac{(V_1 N_1 - V_2 N_2) - (V_3 N_1 - V_4 N_2)}{m(100-H)} \quad (3)$$

Dónde:

P : Contenido de proteínas, en porcentaje de masa.

V_1 : Volumen de la solución 0,1 N de ácido sulfúrico, empleado para recoger el destilado de la muestra, en cm^3 .

N_1 : Normalidad de la solución de ácido sulfúrico.

V_2 : Volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio, empleado en la titulación, en cm^3 .

N_2 : Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

V_3 : Volumen de la solución 0,1 N de ácido sulfúrico empleado para recoger el destilado del ensayo en blanco, en cm^3 .

V_4 : Volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio empleado en la titulación del ensayo en blanco, cm^3 .

m : Masa de la muestra, en g.

H : Porcentaje de humedad en la muestra.

F : Factor para convertir el contenido de nitrógeno a proteínas (6,25)

Figura 15

Equipo de destilación Kjeldahl



Fuente: Autoría propia.

3.3.4 Determinación de Almidón

La determinación de almidón se realizó en el laboratorio particular MSV de la ciudad de Cuenca. El procedimiento efectuado por el laboratorio fue el planteado en la norma NMX - F - 321 - S, norma que describe la determinación de fécula o almidón presente en alimentos en general y bebidas no alcohólicas por el método de hidrólisis ácida. Este método consiste en someter el almidón a la reacción de ácidos en condiciones apropiadas, produciendo la ruptura de los enlaces glucosídicos para dar como producto final O - glucosa para posteriormente cuantificar la cantidad de almidón mediante un factor de conversión de glucosa a almidón (Fernández Matos & Perales Munguía, 2008).

3.4 Realización de las pruebas de jarras utilizando coagulante natural y sulfato de aluminio

Este procedimiento se realizó durante doce semanas de lunes a viernes con una jornada de nueve horas diarias de trabajo. Todos los ensayos con el equipo de jarras y medición de parámetros de agua cruda antes y después del proceso fueron realizados en el laboratorio de la planta de tratamiento de Mahuarcay que forma parte del sistema de agua potable de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental (EMAPAL EP) del cantón Azogues.

3.4.1 Recolección de las muestras de agua

Las muestras de agua utilizadas se obtuvieron del canal de entrada de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay. La recolección se hizo durante el mes de marzo hasta junio del presente año, para lograr turbiedades altas, medias y bajas.

3.4.2 Determinación de parámetros físico – químicos

Los procedimientos para las determinaciones de los análisis físico – químicos se exponen en el anexo C.

- **Turbiedad**

La medición de turbiedad inicial de las muestras recolectadas se realizó en el laboratorio de Análisis Físico - Químico de la planta de tratamiento para esto se empleó el turbidímetro marca HACH - LED TL 2310. El procedimiento consistió en colocar una muestra de agua en la celda de medición del equipo, controlando que el exterior de la celda no se encontrará con gotas de agua ni huellas digitales, posteriormente se ingresaba la muestra en el equipo y se programaba para medir la turbiedad.

Figura 16
Turbidímetro



Fuente: Autoría propia.

- **Color**

Para la determinación del color inicial de las muestras se realizó en el laboratorio de Análisis Físico - Químico de la planta de tratamiento para esto se empleó el colorímetro portátil marca HACH - DR/890. El procedimiento consistió en colocar una muestra de agua en la celda de medición del equipo, cerciorándose que la misma no contenga gotas de agua ni huellas en su superficie, posteriormente se ingresaba la celda en el equipo y se programaba para medir el color.

Figura 17
Colorímetro



Fuente: Autoría propia.

- **pH**

La medición del pH de las muestras obtenidas se realizó en el laboratorio de Análisis Físico - Químico de la planta de tratamiento para esto se empleó el pHmetro digital Atenea primeramente para esto se calibró el equipo con una solución buffer de pH igual 7 antes de la medición de cada muestra, posteriormente se introducía el equipo en la muestra de agua y se esperaba a que el valor se estabilice.

Figura 18
pH - metro



Fuente: Autoría propia.

3.4.3 Preparación de soluciones

Se prepararon soluciones químicas en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable para ser utilizadas en el ensayo de prueba de jarras. Para cada día de ensayo se prepararon soluciones nuevas de coagulante natural y coagulante comercial.

- **Preparación de solución de sulfato de aluminio**

Para la preparación de sulfato de aluminio se utilizó las concentraciones que se usan en la planta de tratamiento de agua potable que fueron del 2% y 3%. Primeramente, se pesó una cantidad determinada de sulfato de aluminio 2 y 3 gramos respectivamente en una balanza analítica, una vez pesado se trasvasó a un vaso de 250 ml y se disolvió con una pequeña cantidad de agua destilada, posteriormente se colocó en un balón de aforo en donde se completó hasta los 100 ml.

- **Preparación de solución de coagulante natural (cáscara de papa)**

La preparación de la solución del coagulante natural se realizó según el método propuesto por Carrasquero et al. (2017) con algunas modificaciones planteadas por Broncano y Rosario (2017). Primeramente, se pesó una cantidad determinada de coagulante natural, dependiendo de la concentración a la que se desee trabajar, para este trabajo se pesó 2, 5 y 10 g para obtener soluciones de 2%, 5% y 10% respectivamente, se disolvió la cantidad pesada en 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitado de 250 ml. Posteriormente la solución se sometió a ebullición en una cocineta eléctrica marca Proctor Silex 34101P durante 5 min, y se dejó enfriar hasta temperatura ambiente.

Figura 19

Balanza analítica



Fuente: Autoría propia.

3.4.4 Determinación del volumen de alícuotas

Una vez preparadas las soluciones de los coagulantes a evaluar se debe calcular el volumen de la alícuota a tomar de cada solución dependiendo de la dosis con la cual se desee trabajar. Para esto se utiliza la ecuación 4 (Huaranga & Vilcarano, 2019).

$$V_j D = V_a C \quad (4)$$

Dónde:

V_j : Volumen de la jarra, en ml

D : Dosis del coagulante empleado, en ppm

V_a : Volumen de la alícuota, en ml

C : Concentración del coagulante empleado, en ppm

3.4.5 Prueba de Jarras

Este proceso se realizó en el laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable, y se usó el equipo de prueba de jarras marca Phipps & Bird Modelo PB-700, el cual consta de 6 jarras con una capacidad de 2 litros. Se trabajó con seis diferentes dosis a la vez en cada ensayo con coagulante natural de cáscara de papa, al igual que con el coagulante comercial de sulfato de aluminio. El procedimiento del equipo de pruebas de jarras se expone en el anexo C.

Una vez finalizado los diferentes ensayos se tomó un pequeño volumen de cada jarra en un vaso de plástico rotulado y se midieron los parámetros de turbidez y color final en cada jarra.

Figura 20

Equipo de prueba de jarras



Fuente: Autoría propia.

3.4.6 Determinación de la dosis óptima

Para conocer la dosis óptima de cada coagulante se calculó el porcentaje de remoción de turbiedad y color de cada muestra de agua analizada, en comparación con los valores iniciales de estos parámetros, considerando a la turbiedad como factor representativo, es decir, se seleccionó la dosis que presentaba la menor turbiedad en cada ensayo independientemente del valor de color obtenido, siendo esta la dosis óptima. Para el cálculo

del porcentaje de remoción de turbiedad y color se utilizaron las ecuaciones 5 y 6 respectivamente (Espíritu & Ramos, 2020):

$$\% \text{ Remoción} = \frac{T_0 - T_f}{T_0} \times 100 \quad (5)$$

Dónde

T_0 : Turbiedad inicial en NTU

T_f : Turbiedad final en NTU

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100 \quad (6)$$

Dónde

C_0 : Color inicial en Pt/Co

C_f : Color final en Pt/Co

3.5 Realización de la curva de dosificación de coagulante natural y coagulante comercial

Para la realización de la curva de dosificación de los coagulantes analizados se recopilaron datos durante todo el tiempo que se efectuó la experimentación del ensayo de prueba de jarras, con el objetivo de cubrir valores de turbiedad elevados y bajos. Una vez obtenidos todos los datos del ensayo de prueba de jarras se seleccionaron aquellos que presentaron la mejor remoción de turbiedad de cada ensayo, es decir, la dosis óptima de cada valor de turbiedad registrado durante la ejecución de la prueba de jarras. Posteriormente, se elaboró un banco de datos en el cual se registraba los resultados de cada ensayo realizado, es así que para la elaboración de la curva de dosificación se tabularon dos columnas, la primera con los valores de turbiedad inicial de agua cruda (en orden ascendente) y la dosis óptima correspondiente a ese valor de turbiedad.

Para entender de mejor manera el comportamiento de los datos obtenidos se graficaron las curvas de dosificación siguiendo distintos modelos de regresión, siendo estos, lineal, polinomial y logarítmico para así de esta manera determinar cuál presenta un mejor ajuste de los datos obtenidos. Cada modelo que se elaboró se comparó a través del parámetro del coeficiente de determinación (R^2). La curva de dosificación de los coagulantes se realizó en el programa Microsoft Excel.

3.6 Análisis estadístico

En el caso de la presente investigación se consideró primeramente analizar los datos obtenidos con la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk para conocer la distribución de los mismos, las hipótesis para esta prueba fueron H_0 : La muestra sigue una distribución normal y H_1 : La muestra no sigue una distribución normal, este resultado indicó que los datos obtenidos no presentan una distribución normal. Por esta razón la prueba estadística que se decidió utilizar fue la prueba de Wilcoxon, cuyas hipótesis son las siguientes. H_0 : No existe una diferencia entre ambas valoraciones y H_1 : Si existe una diferencia entre ambas valoraciones. Esta prueba puede analizar muestras relacionadas, es decir, muestras que se han sometido a un tratamiento o prueba para determinar la variación de un parámetro específico. El análisis estadístico se realizó en el programa estadístico IBM SPSS Statistics v.25.

Para todos los análisis estadísticos se usará una significancia de 0,05.

4. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los resultados del rendimiento del proceso de obtención de coagulante, caracterización físico - química del coagulante natural, así como de la evaluación de los coagulantes analizados en donde se muestran los valores de remoción de turbiedad, color, dosis óptimas, y curvas de calibración para cada coagulante.

El clima presente influenciaba en la turbiedad y color del agua cruda objeto de estudio, es así, que cuando se presentaban precipitaciones se obtenían valores de turbiedad y color elevados, por el contrario, los días en los cuales no se evidenciaba precipitaciones se registraron valores de turbiedad y color bajos.

4.1 Rendimiento del proceso de obtención de coagulante natural

En el proceso de obtención del coagulante natural se obtuvieron los siguientes datos detallados en la tabla 3.

Tabla 3

Rendimiento de proceso de obtención del coagulante natural

Parámetro	Valor
Materia prima (g)	8332,5
Producto final (g)	817,5
% Rendimiento	9,81

Fuente: Autoría propia.

Como se puede observar el porcentaje de rendimiento del proceso de obtención de coagulante natural fue de 9,81 %, este valor se asemeja al reportado por Espíritu y Ramos (2020) el cual fue de 11,36 %. Esta pequeña diferencia se debe a que en la metodología empleada para la obtención del coagulante natural varía en la etapa de secado; en donde el tiempo y temperatura del proceso utilizados por los autores son diferentes a los empleados en este trabajo de investigación. De igual manera el valor obtenido en el presente trabajo es similar al reportado por Broncano y Rosario (2017) el cual fue del 12 %, igualmente que en el caso anterior la metodología utilizada por las autoras difiere de la empleada en este trabajo, debido a que no realizan la etapa de tamizado para obtener un tamaño uniforme de partículas.

4.2 Caracterización del coagulante natural obtenido

Los resultados obtenidos de la caracterización físico química del coagulante natural de cáscara de papa se presentan en la tabla 4.

Tabla 4*Parámetros físico - químicos del coagulante natural a partir de cáscara de papa*

Parámetro	% (m/m)
Almidón	14,017
Cenizas	0,092
Humedad	4,575
Proteínas	0,101

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos correspondiente a los análisis de almidón, cenizas, humedad, y proteínas. El almidón encontrado corresponde al valor de 14,017%, las cenizas 0,092%, humedad 4,575% y proteínas 0,101%, El almidón es el parámetro fundamental que confiere a la cáscara de papa la capacidad de coagulación - floculación. El porcentaje de almidón determinado es el predominante con un valor de 14,017%, lo que se entiende como una mayor cantidad de grupos funcionales que interactúan con los contaminantes presentes en el agua. El parámetro de humedad obtenido tiene un valor relativamente bajo de 4,575 %, este valor se justifica debido a que la materia prima empleada se sometió a un proceso de secado extenso con una temperatura alta. El valor de proteína registrado fue bajo con un valor de 0,101 % y en cuanto a la cantidad de cenizas presentes se observa un valor muy bajo de 0,092 %, lo que significa un contenido pobre de minerales en la corteza de papa.

Autores como Aquino y Tovar (2021) reportan valores de almidón de 10,51 %, de cenizas 1,37 %, de humedad de 11,64 %, y proteína 2,79% en la caracterización del coagulante de cáscara de papa variedad “Canchán”. Vega (2020) reporta valores de cenizas de 4,22 %, humedad 9,37 % y proteína 6,97 %. Mientras que los resultados reportados por García Barrera et al. (2019) señalan valores de cenizas de 6,23 %, humedad 1,72 % y proteínas 0,66 %. Todos los resultados mencionados anteriormente por distintos autores difieren con lo obtenido en esta investigación pues el coagulante de cáscara de papa obtenido se hizo con una variedad distinta de papa, la cual fue variedad “Chaucha rosada”, esto concuerda con lo señalado por Balladares (2018), que afirma que el tipo de variedad de papa influye en las características físicas y químicas que poseen.

4.3 Realización de la prueba de jarras utilizando coagulante natural

La prueba de jarras se realizó con un tiempo y velocidad de mezcla rápida de 1 min a 300 rpm, mezcla lenta por 20 min a 80 rpm y sedimentación de 30 min. Estos tiempos y velocidades de procesamiento se basaron según lo propuesto por Alvarado Carmona (2012) con algunas modificaciones establecidas por Broncano y Rosario (2017). Además, para conocer de mejor manera el comportamiento del coagulante natural en distintos valores de turbiedades se decidió clasificar las turbiedades en bajas, medias y altas, según como se indica en la tabla 5.

Tabla 5
Clasificación de turbiedades

Criterio	Rango
Turbiedad baja	0 - 50
Turbiedad media	> 50 < 200
Turbiedad alta	≥ 200

Fuente: Autoría propia.

Esta clasificación se realizó según lo planteado por Carrasquero et al. (2017) con algunas modificaciones de acuerdo a los valores de turbiedad que se obtuvieron durante la experimentación.

4.3.1 Remoción de turbiedad

Los resultados de los valores obtenidos de turbiedad inicial, turbiedad final y porcentaje de remoción de la turbiedad de cada ensayo se presentan en la tabla 6.

Tabla 6
Datos obtenidos de turbiedad inicial, turbiedad final y porcentaje de remoción - Coagulante Natural

N° de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoción de Turbiedad (%)	N° de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoción de Turbiedad (%)
1	102	42,7	58,14	16	11,9	9,77	17,90
2	13,4	10,2	23,88	17	346	128	63,01
3	36,4	29,3	19,51	18	417	156	62,59
4	136	52,8	61,18	19	31,5	16,1	48,89
5	117	51,6	55,90	20	43,6	21,5	50,69
6	53	40,4	23,77	21	28,6	13,9	51,40
7	82,8	29	64,98	22	379	98,3	74,06
8	260	58	77,69	23	104	48,8	53,08
9	271	72,9	73,10	24	169	57,8	65,80

N° de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoción de Turbiedad (%)	N° de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoción de Turbiedad (%)
10	243	76,6	68,48	25	190	60,6	68,11
11	49,2	27,5	44,11	26	207	58,6	71,69
12	86,7	30,9	64,36	27	304	113	62,83
13	428	133	68,93	28	328	134	59,15
14	23,4	9,25	60,47	29	150	56,8	62,13
15	394	155	60,66				

Fuente: Autoría propia.

Si se analiza los valores de turbiedad final obtenidos con la normativa de calidad de agua potable establecida en la NTE INEN 1108 se puede observar que estos valores no cumplen con la norma vigente pues esta establece que el valor de turbiedad de agua potable no debe ser superior a 5 NTU, de hecho, el menor valor de turbidez que se obtuvo fue de 9,25 NTU. Este resultado concuerda con lo reportado por Broncano y Rosario (2017) que obtiene un valor mínimo de turbidez de 9,48 NTU. Además, es importante mencionar que en los posteriores procesos de potabilización del agua el valor de turbiedad se tiende a reducir más hasta valores inferiores a 1 NTU.

Cabe recalcar que durante los primeros ensayos se obtuvo valores de eficiencia de remoción bajos, entre el rango de 5 - 30 % por lo cual se decidió someter a ebullición la solución madre de coagulante natural para mejorar la eficiencia de remoción, esto según lo planteado por Romero Shiguango (2019) quien indica que someter al almidón a temperaturas elevadas (60°C - 95°C), este atraviesa por los procesos de transformación de gelatinización, gelificación y retrogradación que ayudan a reorganizar la estructura interna del almidón, la cual está confirmada por amilosa y amilopectina, con lo cual se mejora el rendimiento del coagulante natural en la purificación de aguas.

Mediante este calentamiento se consiguió mejorar la eficiencia de remoción del coagulante natural en esta investigación, llegando a valores entre 50 - 77% para turbiedades medias y altas. Es así que de acuerdo a lo planteado por autores como Broncano y Rosario (2017) en donde se realiza la ebullición de la solución de coagulante natural de cáscara de papa se consigue obtener un porcentaje de remoción de 70,5% para turbiedades comprendidas entre 30 a 50 NTU. Mientras que Romero Shiguango (2019) obtiene un porcentaje de remoción de 50,39 %, al calentar la solución de almidón de papa, en muestras de agua con turbiedades que se encuentran alrededor de 246 NTU.

El porcentaje de remoción promedio de turbiedades bajas, turbiedades medias, turbiedades altas y el porcentaje de remoción promedio general se exponen en la tabla 7.

Tabla 7

Resultados del porcentaje de remoción promedio de turbiedad baja, media y alta.

Turbiedad	% Remoción promedio
Alta	67,47
Baja	39,60
Media	57,74
General	54,94

Fuente: Autoría propia.

El porcentaje de remoción para turbiedades bajas fue de 39,60 %, para turbiedades medias 57,74 %, altas con 67,47 % y de todo el proceso en general fue de 54,94%.

Algunos autores como Carrasquero et al. (2017) reportan porcentajes de remoción de 54% para agua con turbiedades bajas, de 90,05% para turbiedades medias y de 95,1 % para turbiedades altas. Camacho-Oviedo et al. (2020) obtienen valores de remoción de turbiedad de 81,32 % con turbiedad de 51,60 NTU. En una investigación realizada por Quino (2019) consigue obtener un porcentaje de remoción de 95,8 % en agua con una turbiedad inicial de 45,8 NTU; los resultados reportados por estos autores difieren con lo obtenido en esta investigación al utilizar coagulante natural de cáscara de papa, sin embargo, hay que recalcar que los resultados de eficiencia de remoción de turbiedad obtenidos por los autores mencionados anteriormente se realizaron en agua turbia sintética creada a partir de la solución de caolín en agua de grifo, como es el caso del primer autor mencionado, en el caso de los siguientes autores el agua analizada fue de fuentes de agua naturales como lagunas o ríos, las cuales no son destinadas a consumo humano, por lo que en estos casos las muestras de agua analizadas no representan el agua cruda destinada al proceso de potabilización.

Otros autores como Rivera (2020) reportan resultados de remoción de turbiedad de 59,65 % para aguas con turbiedades de 438 NTU empleando coagulante natural de cáscara de papa empleando dosis de 200, 250 y 300 mg/l con ensayos de cuatro repeticiones para cada dosis. Mientras que Moreira & Ramos (2021) usando almidón de papa obtienen valores de eficiencia de remoción de turbiedad de 66,15 % con agua con una turbidez inicial de 65 NTU. Estos valores se asemejan a lo obtenido en esta investigación pues el porcentaje de remoción de turbidez alta fue de 67,47% y de turbidez media 57,74 %.

4.3.2 Remoción de color

Los valores de remoción de color se presentan en la tabla 8, en esta se observa los valores de color inicial como de color final después de cada ensayo y su respectiva eficiencia de remoción.

Tabla 8

Datos obtenidos de color inicial, color final y porcentaje de remoción - Coagulante Natural

N° de ensayo	Color inicial (Pt/Co)	Color final (Pt/Co)	Remoción de Color (%)	N° de ensayo	Color inicial (Pt/Co)	Color final (Pt/Co)	Remoción de Color (%)
1	621	470	24,32	16	163	153	6,13
2	133	131	1,50	17	2330	2015	13,52
3	307	327	-6,51	18	3187,5	2975	6,67
4	723	479	33,75	19	300	270	10,00
5	810	500	38,27	20	352	299	15,06
6	630	501	20,48	21	242	213	11,98
7	542	367	32,29	22	3212,5	1930	39,92
8	1825	1485	18,63	23	720	655	9,03
9	1890	1185	37,30	24	1150	1105	3,91
10	2040	267	86,91	25	1590	1090	31,45
11	480	467	2,71	26	1820	1075	40,93
12	685	512	25,26	27	2887,5	1960	32,12
13	4262,5	2105	50,62	28	2375	1755	26,11
14	157	154	1,91	29	1310	755	42,37
15	2700	1700	37,04				

Fuente: Autoría propia.

Como se observa en la tabla 8 no se evidencia una remoción de color eficiente, de hecho, el porcentaje general que se obtuvo fue de 23,92 %. Si se comparan los valores obtenidos en esta investigación con lo establecido en la NTE INEN 1108 con referente a los límites máximos permisibles con respecto al color, se observa que no cumple con lo planteado en la norma pues en esta se estipula que el máximo nivel de color admitido es de 15 Pt/Co. De hecho el menor valor que se obtuvo fue de 131 Pt/Co con un color inicial de 133 NTU obteniendo un porcentaje de remoción de 1,50%, además se pudo observar que en un ensayo el valor del color final aumenta después del tratamiento con coagulante natural obteniéndose un valor de remoción negativo, esto según indica Beltrán (2020) se debe a los pigmentos naturales que se encuentran presentes dentro de la cáscara de papa como antocianinas y polifenoles, los cuales algunos de ellos son hidrosolubles, que confieren ciertas tonalidades a las cáscaras dependiendo de su variedad.

Autores como Carrasquero et al. (2017) obtienen un porcentaje de remoción de color de 62,5% en agua con color inicial de 20 Pt/Co y en agua con color inicial de 45 Pt/Co consigue un porcentaje de remoción de 75%. Por su parte Alvarado Carmona (2012) reporta valores de remoción de color de 79,54 % en agua con un color inicial de 44 Pt/Co. Estos resultados obtenidos difieren con lo obtenido en esta investigación al utilizar una solución de coagulante natural de cáscara de papa, sin embargo, se debe señalar que en el caso del primer autor se obtienen estos valores de remoción de color en muestras de agua con turbiedad sintética, es decir, que no corresponde a agua cruda natural, en el caso del segundo autor mencionado se evalúa la capacidad coagulante de la cáscara de papa en conjunto con sulfato de aluminio realizando formulaciones de 25 % de cáscara de papa - 75 % de sulfato de aluminio y 50 % de cáscara de papa - 50 % de sulfato de aluminio.

4.3.3 Determinación de las dosis óptimas de coagulante natural

A continuación, se presentan los resultados de dosis óptimas obtenidas en cada uno de los ensayos.

Tabla 9

Resultados de dosis óptimas de cada ensayo - Coagulante Natural

Nº de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Dosis (ppm)	Nº de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Dosis (ppm)
1	102	60	16	11,9	40
2	13,4	15	17	346	195
3	36,4	45	18	417	210
4	136	57,5	19	31,5	45
5	117	60	20	43,6	50
6	53	60	21	28,6	30
7	82,8	60	22	379	185
8	260	190	23	104	65
9	271	185	24	169	95
10	243	190	25	190	100
11	49,2	50	26	207	170
12	86,7	60	27	304	200
13	428	200	28	328	200
14	23,4	45	29	150	80
15	394	200			

Fuente: Autoría propia.

Durante los primeros ensayos con coagulante natural se utilizaron dosis similares a las reportadas por la planta de tratamiento de agua de Mahuarcay en la dosificación de sulfato de aluminio para una determinada turbidez; sin embargo, se pudo evidenciar que estas dosis

con coagulante natural no reducían los parámetros de turbiedad y color. Es así que, para la dosificación del coagulante natural se decidió duplicar los valores de dosis de coagulante comercial (sulfato de aluminio) y utilizarlo para evaluar el coagulante natural de cáscara de papa.

La determinación de las dosis óptimas abarcó un rango de turbiedad que cubre valores desde 11,9 hasta 428 NTU. Como se puede observar en la tabla 9 las dosis óptimas obtenidas se encuentran en el rango de 30 hasta 210 ppm. Para el primer criterio de clasificación de turbiedad se observa que los valores de dosis óptimas son relativamente bajos comprendiendo valores que van desde 30 hasta 50 ppm. Para el segundo criterio de clasificación de turbiedad se observa que las dosis óptimas son más altas requiriendo valores que se encuentran en el rango de 60 hasta 100 ppm. En lo que respecta al tercer criterio de clasificación las dosis óptimas obtenidas corresponden a valores de 170 a 210 ppm. Esta tendencia cobra sentido por lo observado durante la experimentación, en donde se pudo evidenciar que a medida que va incrementando el valor de turbiedad inicial del agua cruda es necesario un incremento de la dosis óptima de coagulante.

Estos valores de dosis óptimas obtenidas en los distintos criterios de clasificación de turbiedad, concuerdan con lo reportado por Broncano y Rosario (2017) que consiguen dosis óptimas entre 15 a 50 ppm para cuatro muestras de agua cruda con una turbiedad inicial de 9,8 hasta 46,7 ppm. De igual manera, Rivera (2020) establece dosis óptimas desde 200 ppm para agua cruda con una turbiedad inicial de 438 NTU.

4.4 Realización de la prueba de jarras utilizando sulfato de aluminio

La prueba de jarras se realizó con un tiempo y velocidad de mezcla rápida de 1 min a 290 - 295 rpm, primera fase de mezcla lenta por 7 min a 65 rpm, segunda fase de mezcla lenta por 10 min a 40 rpm, tercera fase de mezcla lenta por 8 min a 25 rpm y sedimentación por 20 min a 2 rpm. Estos parámetros para el proceso de prueba de jarras se utilizaron de acuerdo con el procedimiento empleado en la planta de tratamiento de agua de Mahuarcay.

4.4.1 Remoción de turbiedad

Los valores de turbiedad inicial, final y porcentaje de remoción se exponen en la tabla 10. Se emplearon los valores de dosis que se utilizan dentro de la planta de tratamiento de agua de Mahuarcay.

Tabla 10

Datos obtenidos de turbiedad inicial, turbiedad final y porcentaje de remoción - Sulfato de Aluminio

Nº de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoción de Turbiedad (%)	Nº de ensayo	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Remoción de Turbiedad (%)
1	27,9	5,82	79,14	15	306	1,6	99,48
2	151	4,4	97,09	16	328	1,55	99,53
3	138	4,87	96,47	17	14,1	2,45	82,62
4	145	4,35	97,00	18	23,4	2,22	90,51
5	425	2,26	99,47	19	419	3,58	99,15
6	116	4,96	95,72	20	351	6,39	98,18
7	189	1,73	99,08	21	43,8	2,52	94,25
8	204	2,47	98,79	22	32,1	2,86	91,09
9	50,1	2,62	94,77	23	346	2,93	99,15
10	103	2,24	97,83	24	247	1,63	99,34
11	86,4	4,21	95,13	25	256	0,784	99,69
12	33,7	4,22	87,48	26	266	1,2	99,55
13	261	1,61	99,38	27	169	3,06	98,19
14	389	2,51	99,35				

Fuente: Autoría propia.

Como se puede observar el valor más bajo de remoción obtenido fue de 79,14%. Un estudio realizado con coagulante de sulfato de aluminio obtiene un porcentaje de remoción que va de un 79% hasta 86%, con dosificaciones entre 15 - 70 ppm Léo et al. (2009). Esto se asemeja a valores obtenidos en esta investigación de 79,14%, y de 82,62%. Los demás valores de los diferentes ensayos tienen porcentajes de remoción superiores al 95%, como menciona Barajas y León (2015), los resultados de remoción de turbidez usando como coagulante sulfato de aluminio en valores de turbiedad desde 10 NTU hasta 1000 NTU, fueron desde un rango de 78 % a 99%, con valores distópicos a turbiedades bajas con un valor de remoción de cerca del 30 % respectivamente a una turbiedad de 10 NTU, con lo cual se evidencia que generalmente el porcentaje de remoción de turbidez con sulfato de aluminio está por encima del 90 % de efectividad obteniéndose valores de turbiedad inferiores a 5 NTU, cumpliendo de esta manera con lo estipulado en la NTE INEN 1108.

4.4.2 Remoción de color

Los valores de color inicial, final y porcentaje de remoción de color se presentan en la tabla 11.

Tabla 11*Datos obtenidos de color inicial, color final y porcentaje de remoción - Sulfato de Aluminio*

N° de ensayo	Color inicial (Pt/Co)	Color final (Pt/Co)	Remoción de Color (%)	N° de ensayo	Color inicial (Pt/Co)	Color final (Pt/Co)	Remoción de Color (%)
1	291	41	85,91	15	2580	36	98,60
2	924	38	95,89	16	2585	43	98,34
3	813	21	97,42	17	142	45	68,31
4	902	35	96,12	18	187	56	70,05
5	4125	31	99,25	19	3787,5	55	98,55
6	1200	29	97,58	20	2255	47	97,92
7	1960	33	98,32	21	354	74	79,10
8	1985	44	97,78	22	352	59	83,24
9	474	40	91,56	23	2662,5	45	98,31
10	975	24	97,54	24	2015	37	98,16
11	810	29	96,42	25	2625	9	99,66
12	296	52	82,43	26	2020	71	96,49
13	2005	14	99,30	27	1445	89	93,84
14	3487,5	42	98,80				

Fuente: Autoría propia.

Según se menciona en un estudio usando sulfato de aluminio como coagulante, se obtiene un valor de remoción de color del 96 % siendo su mejor valor, y el menor valor obtenido fue de 36%, Cabrera et al. (2022). Se encontraron valores de remoción de color entre el 80% - 90% (3 valores respectivamente), igualmente se obtuvieron valores menores al 70% (1 valor) y en los demás ensayos se obtuvieron porcentajes de remoción de color superior al 90 %. El rango de color trabajado fue de 142 Pt/Co a 4125 Pt/Co. Según Pérez Garay (2015) se obtienen valores de remoción de color mayores al 95 % en su experimentación y con lo cual demostraría que es efectivo usarlo para el tratamiento de aguas, teniendo una eficiencia mínima de remoción de 95,74% con un color inicial de 81 Pt/Co con una dosis optima de 24 ppm, y una eficiencia máxima de 97,33% con un color inicial de 108 Pt/Co teniendo su dosis óptima en 60 ppm. Con lo cual el rango obtenido por el primer autor difiere ya que el menor valor obtenido en la presente experimentación fue de 68,31%, y contrarresta el valor del 36%, los datos se asemejan más a lo citado por el segundo autor ya que los porcentajes de remoción en su mayoría son superiores al 95%, sin embargo, a pesar de tener un porcentaje de remoción muy alto, los valores obtenidos en su mayoría no cumplen con lo establecido en la NTE INEN 1108 que estipula que el límite máximo permisible de color es de 15 Pt/Co.

4.4.3 Determinación de la dosis óptima del sulfato de aluminio

A continuación, se presentan los resultados de dosis óptimas obtenidas en cada uno de los ensayos.

Tabla 12

Resultados de dosis óptimas de cada ensayo - Sulfato de Aluminio

N° de ensayo	Turbiedad inicial (NTU)	Dosis (ppm)	N° de ensayo	Turbiedad inicial (NTU)	Dosis (ppm)
1	27,9	50	15	306	60
2	151	40	16	328	55
3	138	45	17	14,1	15
4	145	45	18	23,4	20
5	425	55	19	419	60
6	116	40	20	351	55
7	189	50	21	43,8	30
8	204	60	22	32,1	30
9	50,1	30	23	346	50
10	103	45	24	247	50
11	86,4	35	25	256	55
12	33,7	35	26	266	45
13	261	50	27	169	45
14	389	55			

Fuente: Autoría propia.

Los valores de dosis seleccionadas para realizar los ensayos de prueba de jarras con el coagulante comercial (sulfato de aluminio) fueron las mismas con las que se utilizan en la planta de tratamiento de agua potable de Mahuarca. La determinación de las dosis óptimas abarcó un rango de turbiedad que cubre valores desde 14,1 hasta 425 NTU. Como se indica en la tabla 12 los valores de dosis óptimas van de 15 hasta 60 ppm. Para el criterio de clasificación de turbiedad baja (< 50 NTU) se evidencia valores de dosis óptimas bajas estas comprenden valores de 15 hasta 30 ppm. Para el segundo criterio de clasificación de turbiedad media (50 - 200 NTU) se demuestra que las dosis óptimas aumentan de valor en comparación con la turbiedad baja, los valores se encuentran en el rango de 35 hasta 45 ppm. En lo que concierne al último criterio de clasificación de turbiedad (> 200 NTU) se observa que las dosis necesarias aumentan todavía más su valor en comparación con turbiedades bajas y medias, las dosis óptimas adquieren valores que van desde 50 hasta 55 ppm.

En un estudio realizado por Izquierdo (2015) se analiza el coagulante comercial en agua cruda con valores de turbiedad bajos, medios y altos que corresponden a los rangos de 0 - 50 NTU,

51 - 150 NTU y 151 - 900 NTU respectivamente; para el rango de turbiedad baja se obtiene dosis óptimas de 20 - 30 ppm, para turbiedad media de 35 - 45 ppm y para turbiedad alta de 50 - 60 ppm. Pérez Garay (2015) obtiene valores de dosis óptimas para cuatro rangos de turbiedad distintos los cuales son 0 - 19 NTU, 20 - 49 NTU, 50 - 99 NTU y 100 - 1000 NTU. Para el primer rango se obtuvieron dosis óptimas de 13 - 24 mg/L, para el segundo rango de turbiedad se emplean dosis entre 16 - 36 mg/L, en el tercer rango dosis óptimas entre 32 - 42 mg/L y para el último rango de turbiedad se registraron dosis óptimas de 48 - 62 mg/L. Estos resultados se asemejan en su mayoría a los datos obtenidos en esta investigación específicamente en los datos de turbiedad baja y turbiedad media, en donde se requieren dosis de 13 hasta 36 ppm para valores de turbiedad de 0 - 50 NTU. En lo que respecta a los valores de turbiedad alta se observa una diferencia pues según los autores se evalúa el coagulante comercial en agua con turbiedad inicial cercana a 1000 NTU requiriendo dosis máximas de 62 ppm, mientras que en esta investigación para turbiedades cercanas a 430 NTU se requirió entre el rango de 50 - 55 ppm.

4.5 Curvas de dosificación

A continuación, se presentan las curvas de dosificación tanto para el coagulante natural (cáscara de papa) como para el coagulante comercial (sulfato de aluminio).

4.5.1 Elaboración de la curva de dosificación de coagulante natural

En la tabla 13 se muestran los datos de turbiedad inicial ordenados de manera ascendente con sus respectivas dosis para la elaboración de la curva de dosificación. Para la interpretación de la curva de dosificación del coagulante natural se realizaron tres modelos de ajuste siendo estos lineal, polinomial y logarítmico.

Tabla 13
Datos de turbiedad ordenados ascendentemente con su respectiva dosis – Coagulante Natural

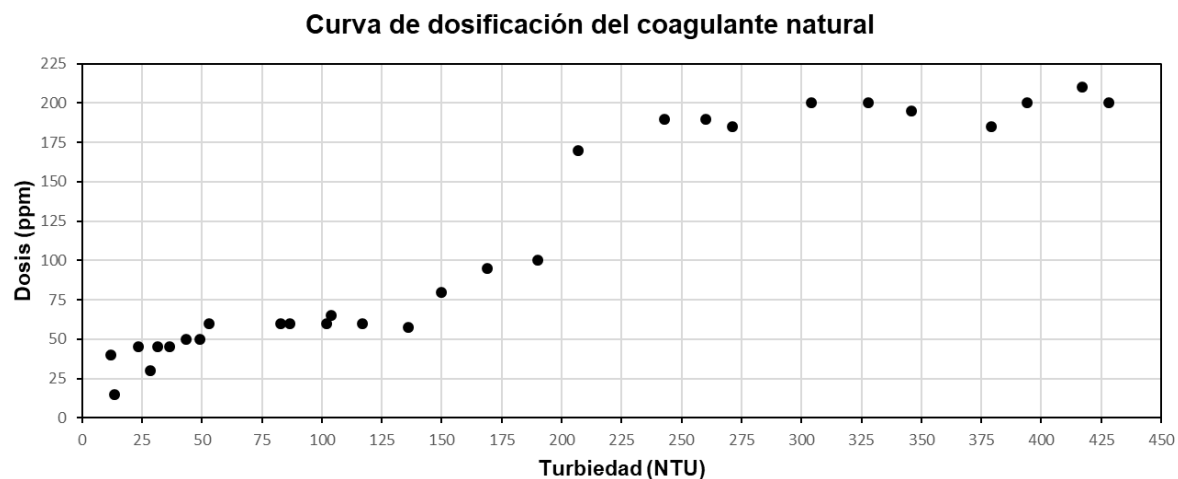
Turbidez inicial (NTU)	Dosis (ppm)	Turbidez inicial (NTU)	Dosis (ppm)
11,9	40	150	80
13,4	15	169	95
23,4	45	190	100
28,6	30	207	170
31,5	45	243	190
36,4	45	260	190
43,6	50	271	185
49,2	50	304	200
53	60	328	200
82,8	60	346	195
86,7	60	379	185
102	60	394	200
104	65	417	210
117	60	428	200
136	57,5		

Fuente: Autoría propia.

4.5.1.1 Rango de turbiedad completa

- Gráfico de dispersión

Figura 21
Gráfico de dispersión – Coagulante Natural



Fuente: Autoría propia.

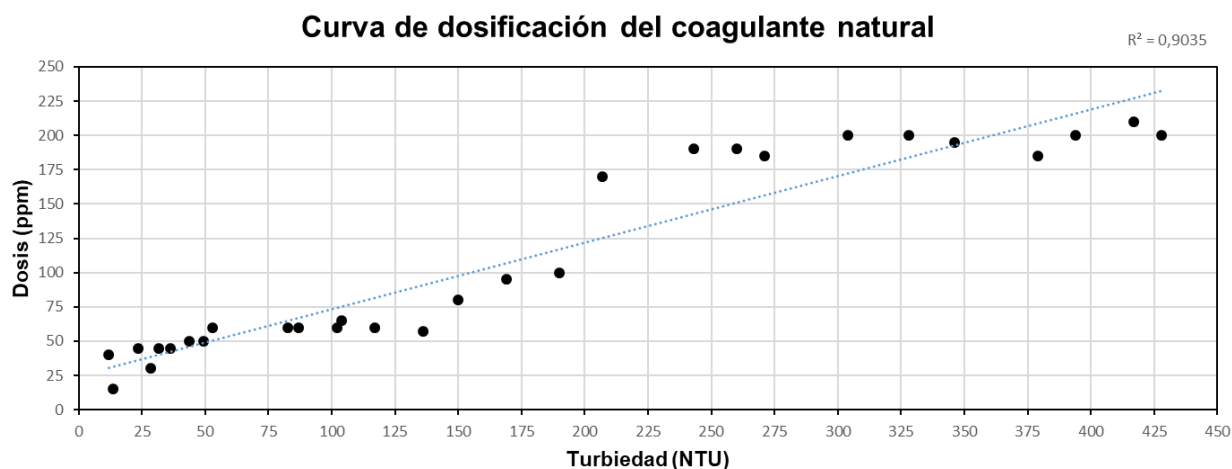
En la figura 21 se puede observar cómo se encuentran dispersos los datos de dosis óptimas en función del valor de turbiedad inicial registrado, se observa una relación directamente

proporcional, es decir, a medida que el valor de turbiedad inicial aumenta también lo hace la dosis óptima.

- **Regresión lineal**

Figura 22

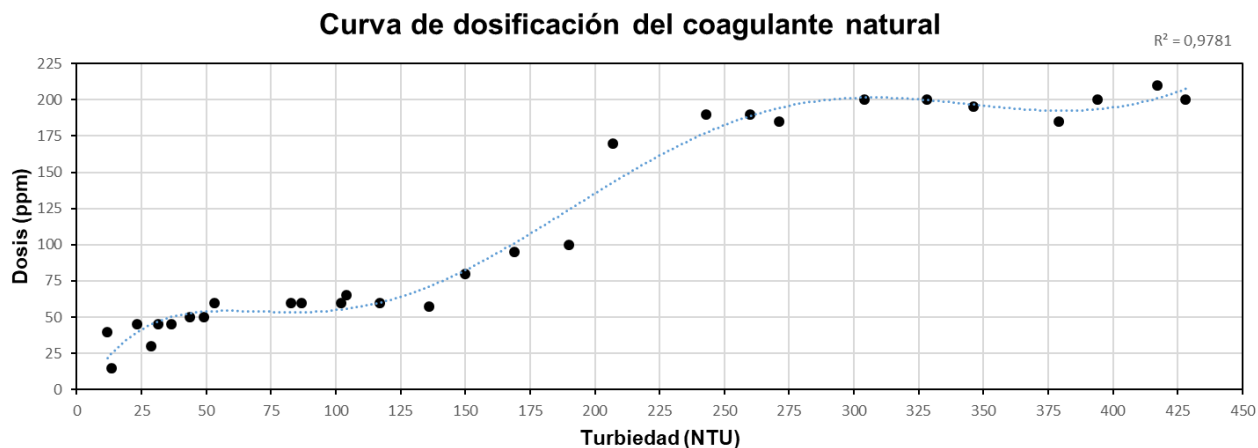
Ajuste de regresión lineal - Coagulante Natural



Fuente: Autoría propia.

La Figura 22 representa el ajuste de un modelo de regresión lineal con el rango de turbiedad completo obtenido. Se puede observar que existen datos muy agrupados en turbiedades inferiores, posteriormente para turbiedades de valor medio se observa una tendencia constante sin variar demasiado el valor de dosis empleada. A partir de turbiedades mayores a 150 NTU se evidencia un incremento de dosis y con valores de turbiedad mayores a 200 NTU se muestra un incremento brusco de dosis, manteniéndose relativamente constante el valor de dosis a medida que aumenta el valor de turbiedad. Mediante este ajuste se obtiene un alto valor de coeficiente de determinación de 0,9035 indicando que este modelo explica el 90,35% de los datos, mientras que existe un 9,65 % de datos que no se explican por el modelo de regresión lineal.

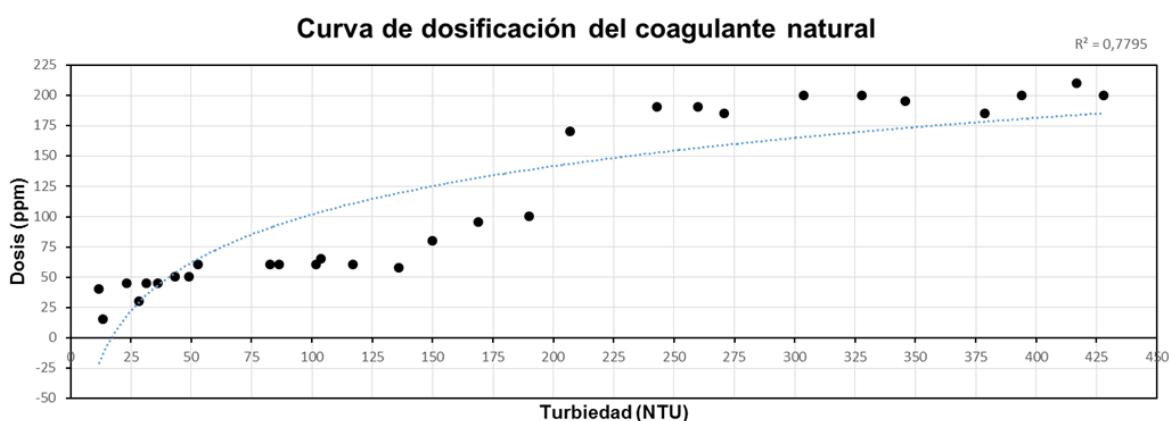
- **Regresión polinomial**

Figura 23*Ajuste de regresión polinomial de grado seis - Coagulante Natural*

Fuente: Autoría propia.

En la figura 23 se indica el modelo de regresión polinomial de grado seis con el rango completo de datos obtenidos. Se puede observar que los datos siguen la tendencia de este modelo, esto se evidencia por el coeficiente de determinación cuyo valor obtenido fue de 0,9781 indicando que el 97,81% de los datos son explicados por este modelo mientras que el restante 2,19% de datos no se explica. Cabe destacar que se optó por realizar un modelo polinomial de grado seis en vista de que al variar el grado del modelo se obtenían mejores resultados.

- **Regresión logarítmica**

Figura 24*Ajuste de regresión logarítmica - Coagulante Natural*

Fuente: Autoría propia.

En la siguiente figura 24 se muestra el modelo de ajuste logarítmico para el rango de turbiedades completos. Se puede observar como la línea del modelo no consigue ajustarse

de una manera adecuada a los datos experimentales, esto puede comprobarse por el valor de coeficiente de regresión obtenido el cual es de 0,7795, con el cual se consigue explicar el 77,95% de los datos mientras que el restante 22,05% no es explicado por el modelo. Este modelo es el menos indicado para ajustarse a los datos obtenidos pues en comparación con los anteriores este predice una cantidad menor de datos experimentales.

4.5.2 Elaboración de la curva de dosificación del sulfato de aluminio

Para la interpretación de la curva de dosificación del sulfato de aluminio se realizaron tres modelos de ajuste siendo estos lineal, polinomial y logarítmico. En la tabla 14 se muestran los datos de turbiedad inicial ordenados de manera ascendente con sus respectivas dosis para la elaboración de la curva de dosificación.

Tabla 14

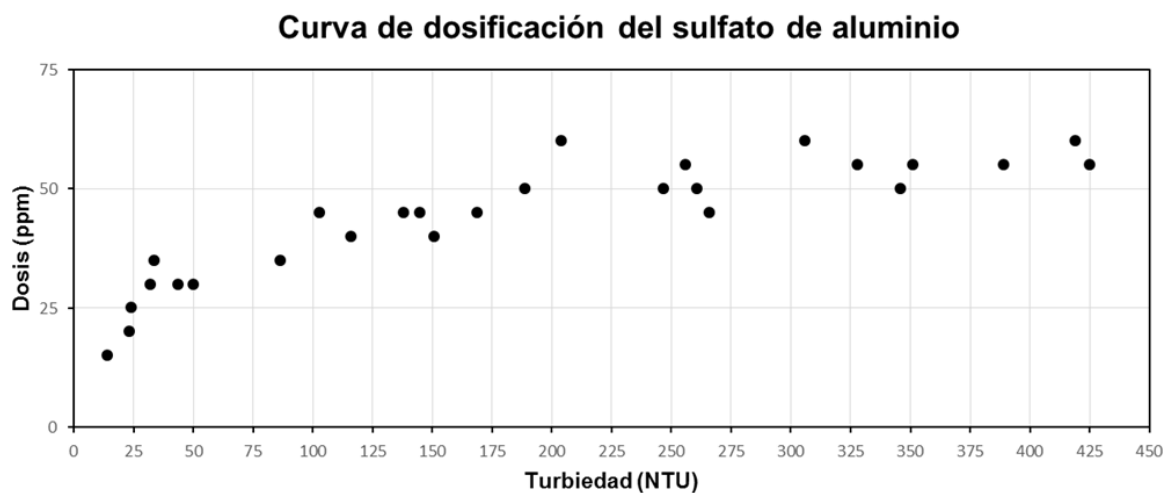
Datos de turbiedad ordenados ascendentemente con su respectiva dosis – Sulfato de Aluminio

Turbiedad inicial (NTU)	Dosis (ppm)	Turbiedad inicial (NTU)	Dosis (ppm)
14,1	15	189	50
23,4	20	204	60
24,1	25	247	50
32,1	30	256	55
33,7	35	261	50
43,8	30	266	45
50,1	30	306	60
86,4	35	328	55
103	45	346	50
116	40	351	55
138	45	389	55
145	45	419	60
151	40	425	55
169	45		

Fuente: Autoría propia.

4.5.2.1 Rango de turbiedad completa

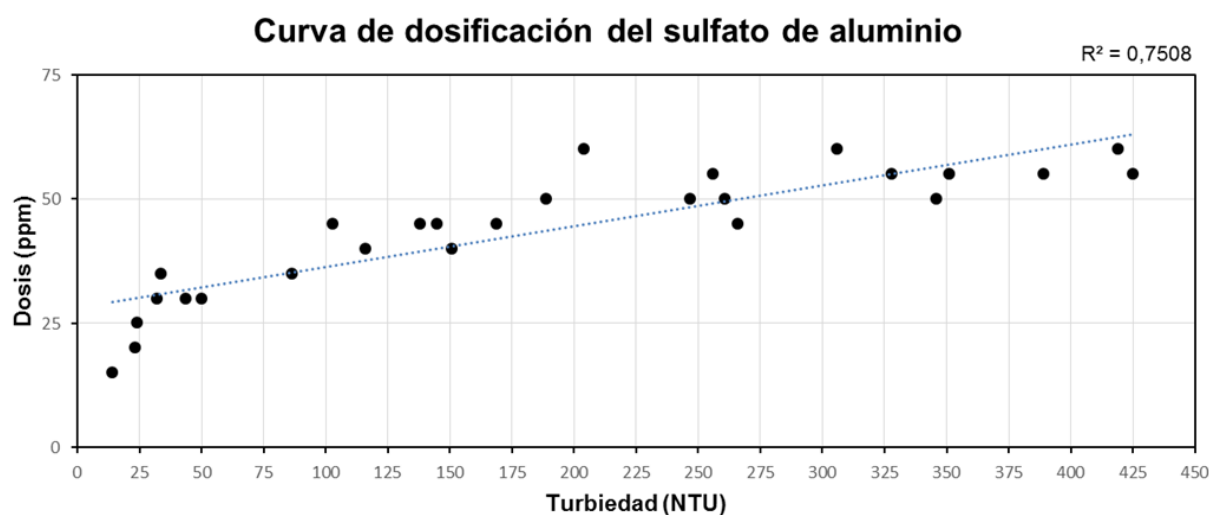
- **Gráfico de dispersión**

Figura 25*Gráfico de dispersión - Sulfato de Aluminio*

Fuente: Autoría propia.

La figura 25 presenta el gráfico de dispersión de la curva de dosificación de sulfato de aluminio, se trabajó desde 0 a 450 NTU, se puede observar que en un rango de 0 a 150 NTU existe un crecimiento de dosis según aumenta el valor de turbiedad inicial, los valores de dosis se encuentran en un rango desde 15 a 45 ppm, a partir de 250 NTU se puede observar una tendencia ligeramente constante de dosis a medida que aumentan los valores de turbiedad, los rangos de dosis se encuentran entre 50 y 55 ppm.

- **Regresión lineal**

Figura 26*Ajuste de regresión lineal - Sulfato de Aluminio*

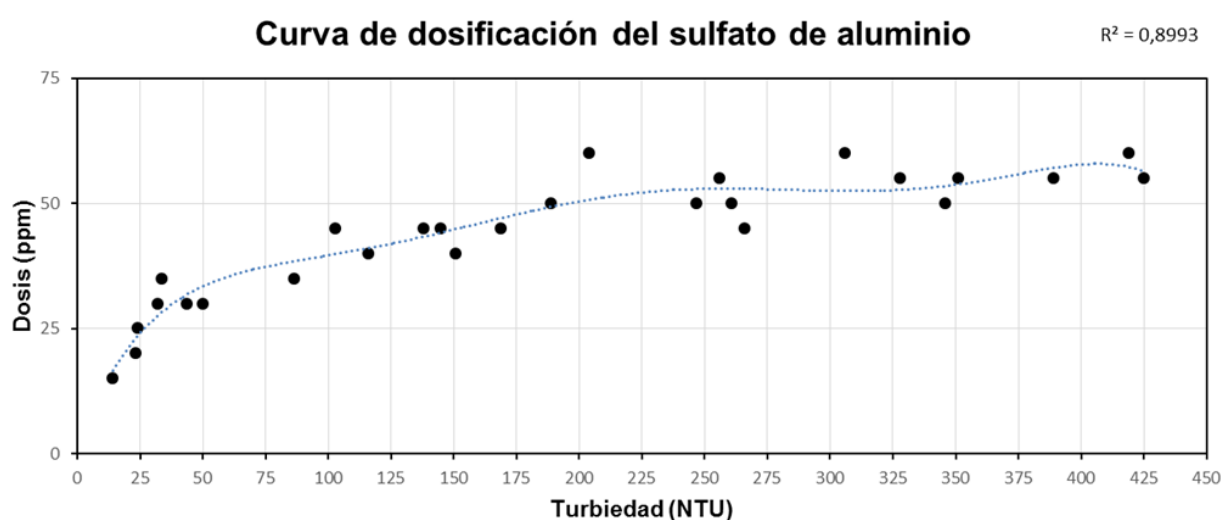
Fuente: Autoría propia.

Se presentan los resultados con un modelo de regresión lineal en la figura 26, el valor obtenido del coeficiente de determinación fue de 0,7508; es un valor aceptable para esta distribución de datos. Pérez Garay (2015) determina la dosis óptima de sulfato de aluminio para diferentes turbiedades, este autor realizó correlaciones lineales para rangos de turbiedad y determinó que sus datos se ajustaban de una manera correcta a un modelo lineal con un valor promedio de 0,8611, lo cual se aleja del valor del coeficiente de determinación obtenido.

- **Regresión polinomial**

Figura 27

Ajuste de regresión polinomial de grado seis - Sulfato de Aluminio

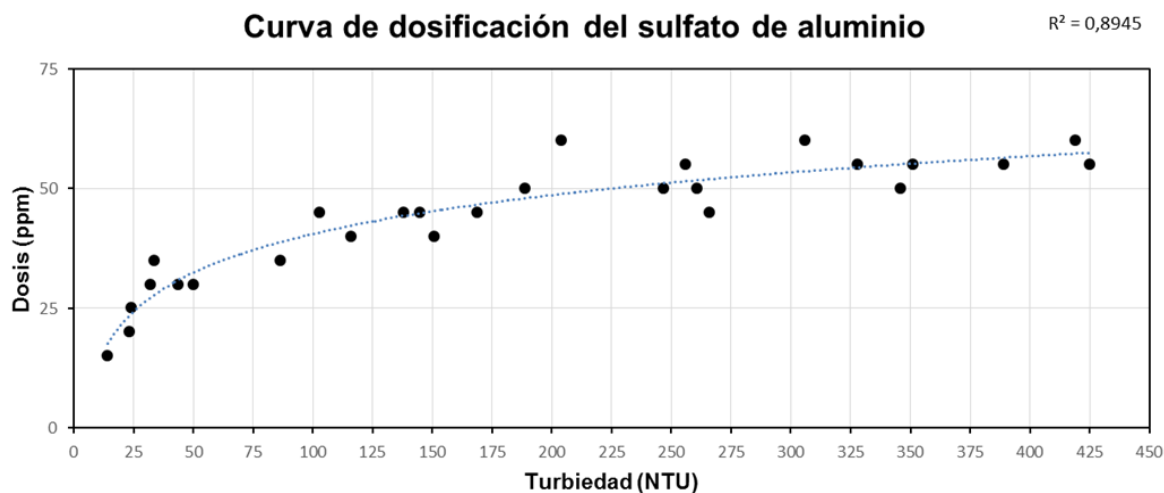


Fuente: Autoría propia.

En la figura 27 se muestra la regresión polinomial, el valor obtenido del coeficiente de determinación fue de 0,8993, este valor corresponde al grado 6 y fue el mejor valor con respecto a grados inferiores, siendo el menor de grado 2 con un valor de 0,8669. Barajas y León (2015) realizaron regresiones lineales y polinomiales, obteniendo un mejor resultado de ajuste con un modelo polinomial, llegando a la deducción de que según va incrementándose el valor de turbiedad inicial, la dosis será incrementando progresivamente.

También se aplicó un modelo potencial en los datos y se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,8822. Andrade y Ramírez (2022) seleccionaron dosis óptimas de sulfato de aluminio tipo A y su respectiva turbiedad inicial, cuyos datos fueron 117, 420, 522, 659, 900 NTU para graficar la curva de dosificación, obteniendo así que la mejor regresión que ajusta sus valores de una manera adecuada es un modelo potencial con un valor de coeficiente de determinación de 0,9439, con lo cual se nota una pequeña diferencia entre ambos valores del coeficiente de determinación.

- Regresión logarítmica

Figura 28*Ajuste de regresión logarítmico - Sulfato de Aluminio*

Fuente: Autoría propia.

Según los datos obtenidos en la experimentación, la curva de dosificación se ajusta de una manera adecuada a un modelo logarítmico con un coeficiente de determinación de 0,8945, este modelo concuerda con la curva de dosificación que se utiliza en la planta de tratamiento de agua de Mahuarcay. Con lo cual se asevera que el modelo de ajuste logarítmico representa de una manera aceptable la dosificación de coagulante de sulfato de aluminio para un determinado valor de turbiedad.

Los valores del coeficiente de determinación en los modelos analizados no difieren mucho entre sí, solo el modelo lineal, el cual es menor con respecto a los modelos polinomial y logarítmico, por consecuencia se puede concluir que estos dos últimos modelos son confiables.

4.6 Análisis estadístico

Para evaluar estadísticamente si el coagulante natural de cáscara de papa es eficiente para la remoción de turbiedad y color es necesario conocer si existe una diferencia significativa entre los valores iniciales y finales de dichos parámetros, para esto se realizó la prueba de normalidad, en este caso el resultado de dicha prueba determinó una distribución no normal tanto para el parámetro de turbiedad como para el parámetro de color, por lo que se aplicó la prueba de Wilcoxon para analizar dichos parámetros.

4.6.1 Criterio para determinar la normalidad

H_0 : La muestra sigue una distribución normal.

H_1 : La muestra no sigue una distribución normal.

- **Regla de decisión**

Si $p\text{-valor} \leq \alpha$, se rechaza la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula

4.6.2 Criterio para determinar la prueba estadística

H_0 : No existe una diferencia significativa entre ambas valoraciones

H_1 : Si existe una diferencia significativa entre ambas valoraciones

- **Regla de decisión**

Si $p\text{-valor} > \alpha$, se acepta la hipótesis nula

Si $p\text{-valor} \leq \alpha$, se rechaza la hipótesis nula

4.6.3 Prueba de normalidad

- **Parámetro turbiedad**

Tabla 15

Prueba de normalidad de turbiedad inicial y final

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Turbidez inicial (NTU)	0,141	29	0,146	0,901	29	0,011
Turbidez final (NTU)	0,200	29	0,004	0,889	29	0,005

Nota. a. Corrección de significación de Lilliefors. Fuente: Autoría propia.

Ya que el número de muestras es inferior a 50, se escoge la prueba de Shapiro-Wilk, con lo cual se observa que la significancia es menor en ambos casos a 0,05, obteniendo un p - valor para una turbiedad inicial de 0,011 y para una turbiedad final de 0,005. Por lo cual existe

evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa entonces se confirma que los datos de turbiedad no siguen una distribución normal.

- **Parámetro color**

Tabla 16

Prueba de normalidad de color inicial y final

	Pruebas de normalidad			Shapiro-Wilk		
	Kolmogorov-Smirnov ^a					
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Color inicial (Pt/Co)	0,205	29	0,003	0,893	29	0,007
Color final (Pt/Co)	0,225	29	0,001	0,868	29	0,002

Nota. a. Corrección de significación de Lilliefors. Fuente: Autoría propia.

De igual manera que en el parámetro de turbiedad la prueba de normalidad elegida fue la de Shapiro Wilk pues las muestras analizadas son inferiores a 50. Se puede observar que el p - valor es de 0,007 para color inicial y de 0,002 para el color final. Estos valores son inferiores al nivel de significancia que fue de 0,05; por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa por ende se comprueba que los datos no siguen una distribución normal.

4.6.4 Prueba estadística

- **Parámetro turbiedad**

Tabla 17

Estadísticos de prueba - Turbiedad

Estadísticos de prueba ^a	
	Turbidez final (NTU) - Turbidez inicial (NTU)
Z	-4,703 ^b
Sig. Asintótica (bilateral)	2,56E-06

Nota. a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b. Se basa en rangos positivos. Fuente: Autoría propia.

En la tabla 17 se muestran los estadísticos de prueba en donde el p - valor es 2,56E-6, este valor es inferior al nivel de significancia de 0,05, por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, entonces se confirma que sí existe una diferencia significativa entre ambas valoraciones.

- **Parámetro color**

Tabla 18*Estadísticos de prueba - Color*

Estadísticos de prueba^a	
Color final (Pt/Co) - Color inicial (Pt/Co)	
Z	-4,595 ^b
Sig. Asintótica (bilateral)	4,33E-06

Nota. a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b. Se basa en rangos positivos. Fuente: Autoría propia.

En la tabla 18 se muestran los estadísticos de prueba en donde el p - valor es 4,33E-6, este valor es inferior al nivel de significancia de 0,05, por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, confirmando que sí existe una diferencia significativa entre las medias de los dos conjuntos de datos de color inicial y color final.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Mediante la metodología aplicada se logró obtener un coagulante natural a partir de los residuos de cáscara de papa, y a partir de ello, fue posible realizar la caracterización del coagulante natural mediante análisis de laboratorio para lo cual se evaluó parámetros como la humedad con un valor de 4,575%, cenizas 0,092%, proteínas 0,101% y almidón con 14,017%, siendo este último el parámetro más representativo de la caracterización y el cual confiere la propiedad de coagulación - floculación de los residuos de papa.

Con el propósito de evaluar la acción coagulante - floculante de los residuos de papa se comparó su capacidad con un coagulante comercial (sulfato de aluminio) mediante el ensayo de jarras. Se analizaron dos parámetros en el agua cruda, turbiedad y color, realizándose dos medidas, una inicial, es decir antes del tratamiento y una final, posterior al tratamiento, con lo cual se determinó que con el coagulante natural los parámetros finales de turbiedad y color no cumplían con lo establecido en la NTE INEN 1108, mientras que con el coagulante comercial el parámetro de turbiedad se encontraba dentro de los límites permisibles que establece la norma, sin embargo, el parámetro de color no cumplía con lo estipulado en dicha norma. Es importante mencionar que en los posteriores procesos de potabilización del agua (sedimentación, filtración y desinfección) la turbiedad y el color pueden disminuir aún más su valor.

Para la realización del ensayo de prueba de jarras se utilizaron distintas dosis tanto de coagulante natural como de coagulante comercial. Las dosis óptimas obtenidas para coagulante natural se encontraron en el rango de 15 a 210 ppm para una turbidez inicial de 11,9 hasta 428 NTU, mientras que para coagulante comercial el rango fue de 15 a 60 ppm para una turbidez inicial de 14,1 hasta 425 NTU. Con estas dosis fue posible realizar curvas de dosificación con ambos coagulantes para visualizar de mejor manera el comportamiento de los mismos, a partir de esto se pudo determinar que ambos coagulantes presentaron una tendencia similar en cuanto a la relación turbidez - dosis, en donde a medida que aumenta el nivel de turbidez también lo hace la dosis de coagulante. Sin embargo, cabe destacar que la dosis necesaria de coagulante natural para tratar agua cruda es casi el doble de la dosis de coagulante comercial.

Para la eficiencia de remoción de turbiedad con coagulante natural se obtuvo un porcentaje de remoción general de 54,94%, mientras que para el coagulante comercial se obtuvo un porcentaje de remoción general de 95,83%. En lo que respecta al color el porcentaje remoción general del coagulante natural fue de 23,92% y del coagulante a partir de sulfato de aluminio

fue del 93,14%, determinado así que el coagulante comercial posee una mejor capacidad de coagulación - floculación que el coagulante natural a base de residuos de papa. No obstante, es importante destacar que los residuos de papa, a pesar de ser considerados como un desperdicio dentro de la industria alimentaria presentan una considerable acción de coagulación, con más del 50%.

5.2 Recomendaciones

Realizar estudios con diferentes variedades de papa para así enriquecer la obtención de coagulantes a base de residuos vegetales.

Efectuar investigaciones en donde se analicen distintos residuos vegetales como coadyuvantes de coagulación.

Realizar la caracterización de los lodos residuales después del proceso de sedimentación con el coagulante natural de cáscara de papa.

6. Referencias

- Alazaiza, M. Y. D., Albahnasawi, A., Ali, G. A. M., Bashir, M. J. K., Nassani, D. E., Al Maskari, T., Amr, S. S. A., & Abujazar, M. S. S. (2022). Application of Natural Coagulants for Pharmaceutical Removal from Water and Wastewater: A Review. *Water*, 14(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/w14020140>
- Alvarado Carmona, L. (2012). Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta "La Diana". *Publicaciones e Investigación*, 6, 115-121. <https://doi.org/10.22490/25394088.1115>
- Alvarado Pacheco, M. B., & Mayancela Santander, E. F. (2022). *Optimización del proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de agua residual generada en la cuba de decapado en la empresa Galvánica Cía. LTDA. del cantón Cuenca* [Bachelor Thesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40332>
- Álvarez, M., Amador, M., Angulo, C., Arellana, A., Collantes, M. J., Gómez, A., & Rodelo, E. (2020). *Propiedades opticas de coloides—UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA Facultad de Ciencias Químicas*. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-sinaloa/fisicoquimica/propiedades-opticas-de-coloides/9798194>
- Andrade, G., & Ramírez, H. N. (2022). *Análisis de eficiencia de coagulantes de aluminio en clarificación del agua* [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/46694>
- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Aquino, K., & Tovar, M. (2021). *Eficiencia de remoción del plomo (II) de aguas residuales mineras utilizando almidón de cáscara de papa (Solanum tuberosum) como coagulante natural* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6862>

- Araujo Jaramillo, M. A., Cartagena Ayala, Y. E., Castillo Carrillo, C. I., Cuesta Subía, H. X., Monteros Jácome, J. C., Paula Caicedo, N. R., Racines Jaramillo, M. R., Rivadeneira Ruales, J. E., Velásquez Carrera, J. S., León Ruíz, J. E., Panchi Umaginga, N. G., & Andrade Piedra, J. L. (2021). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores*. 3ra. Edición. Quito, EC: INIAP-EESC, 2021.
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5672>
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Boletín de servicios agrícolas de la FAO.
<https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>
- Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Hussein, N., Sillanpää, M., Prasetyo, D. D., & Syafiuddin, A. (2021). Recent Advances on Coagulation-Based Treatment of Wastewater: Transition from Chemical to Natural Coagulant. *Current Pollution Reports*, 7(3), 379-391.
<https://doi.org/10.1007/s40726-021-00191-7>
- Balladares, V. (2018). *Evaluación del contenido de antocianinas y micronutrientes (hierro, calcio y magnesio) en papas nativas (Solanum andigena) enteras y peladas de las variedades Puca Shungo, Yana Shungo y Yema de huevo* [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27787>
- Barajas, C., & León, A. (2015). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación—Floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial*. [Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2916>
- Basantes, G. (2016). *Alternativas de coagulantes para el tratamiento de agua en la planta de tratamiento “El Placer” perteneciente a la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento* [BachelorThesis, Quito: UCE].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15015>

- Beltrán, M. (2020). *Composición en nutrientes y bioactivos y propuesta de biorrefinería de papa Solanum tuberosum Grupo Phureja* [Universidad Nacional de Colombia].
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78726>
- Bharti, S. (2021, julio 3). Colloidal Dispersion: Properties of colloids and MCQs for NEET, JEE, NET, GPAT, NIPER, Pharmacist and Drug Inspector exam. *Gpatindia: Pharmacy Jobs, Admissions, Scholarships, Conference, Grants, Exam Alerts*.
<https://gpatindia.com/colloidal-dispersion-properties-of-colloids-and-mcqs-for-neet-jee-net-gpat-niper-pharmacist-and-drug-inspector-exam/>
- Bhateria, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: A review. *Sustainable Water Resources Management*, 2(2), 161-173. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>
- Borda, D., & Cahuata, R. (2021). *Evaluación del Proceso de Coagulación-Floculación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Misikunu—Santo Tomás Para la Eliminación de Color* [Universidad Nacional de San Antonio del Cusco].
http://200.48.82.27/bitstream/handle/20.500.12918/5990/253T20210236_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bravo, A., & Chavarría, M. (2020). Extracción y caracterización del almidón de papa (solanum tuberosum) variedad leona blanca. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 10, 26-34.
<https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10550>
- Brenes-Esquivel, R., & Rojas-Solano, L. F. (2005). El agua: Sus propiedades y su importancia biológica. *Acta Académica*, 37(Noviembre), Article Noviembre.
- Brito, P. M. E. (2015). *DISEÑO DE UN PLAN DE MANEJO DE LOS LODOS RESIDUALES GENERADOS POR PLANTAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL].
http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/13904/1/64689_1.pdf
- Broncano, L., & Rosario, N. (2017). *EFICIENCIA DEL TROPAEOLUM TUBEROSUM Y LA CÁSCARA DE SOLANUM TUBEROSUM COMO COAGULANTE PARA LA*

REMOCIÓN DE TURBIEDAD, COLOR Y SÓLIDOS DISUELTOS, EN EL RIO LLULLÁN, PROVINCIA DE CARAZ, ANCASH-2016 [UNIVERSIDAD NACIONAL “SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”].

https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1976/T033_46281051_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cabrera, A., Galvis, A., & Rico, A. (2022). *Determinación de la eficiencia de los coagulantes orgánicos en el tratamiento de aguas residuales*.

Cajiao, E. S., Bustamante, L. E., Cerón, A. R., & Villada, H. S. (2016). Efecto de la Gelatinización de Harina de Yuca sobre las Propiedades Mecánicas, Térmicas y Microestructurales de una Matriz Moldeada por Compresión. *Información tecnológica*, 27(4), 53-62. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400006>

Calabokis, M. (2020, noviembre 27). *Metamorfosis del almidón: Gelatinización y retrogradación*. Exiliopanadero. <https://www.exiliopanadero.com/post/metamorfosis-del-almidón-gelatinización-y-retrogradación>

Camacho, M. (2014). *CONTROL Y EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE VIDA DE LOS HABITANTES DE CALUMA NUEVO DEL CANTÓN CALUMA – PROVINCIA DE BOLÍVAR*. AUTOR: [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7413/1/Tesis%20775%20-%20Camacho%20Garc%C3%ADa%20Marlene%20Beatr%C3%ADz.pdf>

Camacho-Oviedo, H., Campos-Núñez, D., Martínez, I. M., Cubillán-Acosta, N., & Castellar-Ortega, G. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>

Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de Agua. Coagulación y Floculación*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/andia.pdf>

- Carrasquero, S. J., Flores, S. M., Perche, E. D. F., Ferrer, P. M. P., Leal, J. C. M., & Montiel, A. R. D. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonchum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- Carrera, G., & Infante, E. (2015). *Influencia del ph, concentración de coagulante y floculante en la remoción de sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno y turbidez en efluente de lavado de pulpa de la planta papelera trupal s.a.* [Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3254>
- Castellanos, L., & Martin, M. (2020). *Desarrollo de un coagulante orgánico a partir de la semilla de moringa para empresa Comercial Dacetex Ltda* [Bachelor Thesis, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7789>
- Castrillón, D., & Giraldo, M. (2012). *Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color Para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2b18eb4d-a5ff-45a1-9f33-79beba866dcc/content>
- Charapaqui, J. (2019). *Dosificación de Coagulantes y Floculantes para la Remoción de Sedimentos del Agua en el Embalse Cuchoquesera ,Ayacucho* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4158/charapaqui-ancasi-juan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2014). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, 26(11), 2178-2189. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>

- Córdoba, M. A., Coco, V. F., & Basualdo, J. A. (2010). Agua y salud humana. *Química Viva*, 9(3), 105-119.
- Di Vito, S., & Mancini, M. (2021, marzo 22). Acque in rete criticità e opportunità per migliorarne la gestione in Italia. 22 de marzo de 2021. https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2021/03/Acque-in-rete_dossier-2021.pdf
- dos Santos, J. D., Veit, M. T., Juchen, P. T., da Cunha Gonçalves, G., Palácio, S. M., & Fagundes-Klen, M. (2018). Use of different coagulants for cassava processing wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 1821-1827. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.02.039>
- Escobar, F. (2005). *Descripción Hidráulica de Batería de Filtros de Planta N.1 de la Atarjea* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/cristobal_ef/cap02.pdf
- Espíritu, I., & Ramos, M. (2020). *Evaluación de la Proporción del Almidón Modificado de Cáscara de Papa Con $Al_2(SO_4)_3$ y Tiempo de Agitación en la Remoción de Turbidez* [Bachelor Thesis, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6378/T010_71292182_T-comprimido.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Eustaquio, J. (2019). *Propiedades del agua* [Trabajo de suficiencia profesional].
- Falconi, F. (2012). *Diseño De Un Sistema De Gestión Integral De Aguas Residuales Industriales Generadas Por El Proceso De Explotación Minera En El Proyecto Corazón, Cantón Cotacachi* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/665/1/T-UCE-0012-90.pdf>
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147-170. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- Fernández Matos, C. N., & Perales Munguía, M. E. (2008). *Degradación del almidón de maíz amiláceo (Zea Mays amiláceo variedad blanco Cuzco) por hidrólisis enzimática*

- utilizando la amiloglucosidasa para la obtención de glucosa* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/218>
- Flores-Gallardo, H. (2007). *Validación de un Modelo Basado en el Concepto Grados Día (°D) para el Pronóstico del Riego en el Cultivo de Papa (Solanum tuberosum L.) en el Norte de Sinaloa* [Universidad Autónoma de Sinaloa]. <https://doi.org/10.13140/2.1.5018.5288>
- Fundación Aquae. (2021, diciembre 28). *Datos interesantes de la distribución del agua en la Tierra*. Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>
- García Barrera, A. V., Ventura Santos, S. D., & Mendoza Hernández, J. R. (2019). *Diversificación de productos alimenticios a base de cáscaras de vegetales procesadas como materia prima en la industria de alimentos: En asocio colaborativo con el Parque Tecnológico de Agroindustria PTA*. ITCA-FEPADE. <http://hdl.handle.net/10972/4025>
- García Montalvo, I. A., & Cervantes Matías, C. A. (2017). Vegetable coagulants as a lternative for treatment of wastewater in Mexico. *Journal of negative & no positive results*, 2, 687-694. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.1650>
- Ghernaout, D. (2020). Water Treatment Coagulation: Dares and Trends. *OALib*, 07(08), 1-18. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106636>
- Ghernaout, D., & Boucherit, A. (2015). Review of Coagulation's Rapid Mixing for NOM Removal. *Journal of Research & Developments in Chemistry*, 1-32. <https://doi.org/10.5171/2015.926518>
- Ghernaout, D., & Ghernaout, B. (2012). Sweep Flocculation as a Second Form of Charge Neutralisation-A Review. *Desalination and water treatment*, 44, 15-28. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.691699>
- Gil, E., & Canaquiri, C. (2019). *USO DE TRES TUBÉRCULOS: YUCA (M. Esculenta crantz), SACHA PAPA MORADA (D. Trífida) Y PAPA BLANCA (S. Tuberosum L.), COMO COAGULANTES DURANTE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE*

TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE IQUITOS, PERÚ. 2018 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
https://45.58.92/bitstream/handle/20.500.12737/7419/Ethel_Tesis_Titulo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzales, L. A. O. (2020). *ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UN COAGULANTE NATURAL A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN AGUAS DEL RÍO CHOQUEYAPU DE LA LOCALIDAD DE RÍO ABAJO* [Universidad Mayor de San Andrés].
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/29822/PG-2538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, M., & Hernández, C. (2006). *Determinación de Aluminio en el Agua Potable de Valencia y Localidades Cercanas*.
<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a1n3/1-3-4.pdf>

Guadarrama, R., Kido, J., Roldán, G., & Salas, M. (2016). *Contaminación del agua*. 2(5), 1-10.
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf

Guzmán Licona, F. (2022). *Propiedades del Agua*.
<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/20179/propiedades-agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guzmán Rivas, J. F. (2017). *Evaluación Técnica de la Etapa Coagulación-Floculación para el Mejoramiento en el Proceso de Potabilización de la Planta Galán de la EAAAZ* [Universidad de América].
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6580/1/6102499-2017-2-IQ.pdf.pdf>

Huaringa, J., & Vilcarano, D. (2019). *Efectividad del coagulante obtenido de residuos de papa (Solanum tuberosum) en la turbidez para la potabilización del agua* [Universidad

Nacional del Centro del Perú].

<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6114>

Hurtado, J. (2019). *Estudio del almidón modificado de banano (m. Sapientum l.) variedad cavendish obtenido por acetilación*. [BachelorThesis, Machala : Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14181>

Idrovo, C. (2010). *Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucún* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>

INEC. (2023). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf

Iwuozor, K. (2019). Properties and Uses of Colloids: A Review. *Colloid and Surface Science*, 4, 24-28. <https://doi.org/10.11648/j.css.20190402.12>

Izquierdo, A. (2015). *Determinación de la dosis óptima del coagulante sulfato de aluminio aplicado en la planta de tratamiento de agua de la Central Termoeléctrica «El Descanso»* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23008>

Khatun, R. (2017). *Water Pollution: Causes, Consequences, Prevention Method and Role of WBPHEd with Special Reference from Murshidabad District*. 7(8).

Koul, B., Bhat, N., Abubakar, M., Mishra, M., Arukha, A. P., & Yadav, D. (2022). Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals. *Water*, 14(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/w14223751>

Laborda Rubio, P., & NPunto. (2019). EXPOSICIÓN AL ALUMINIO Y SU RELACIÓN CON LA ENFERMEDAD DE ALZHEIMER. *EXPOSICIÓN AL ALUMINIO Y SU RELACIÓN CON LA ENFERMEDAD DE ALZHEIMER*, 0(0), 1-0. <https://www.npunto.es/revista/13/exposicion-al-aluminio-y-su-relacion-con-la-enfermedad-de-alzheimer>

- Lapointe, M., & Barbeau, B. (2020). Understanding the roles and characterizing the intrinsic properties of synthetic vs. natural polymers to improve clarification through interparticle Bridging: A review. *Separation and Purification Technology*, 231, 115893. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115893>
- Lédo, P. G. S., Lima, R. F. S., Paulo, J. B. A., & Duarte, M. A. C. (2009). Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. *Información tecnológica*, 20(5), 3-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642009000500002>
- Lopera, F. (2019). *Proceso de Coagulación en el Tratamiento de Aguas Residuales de una Heladería: Eficiencia de Diferentes Coagulantes de Origen Inorgánico*. [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23323/LoperaL%C3%B3pezFernandaCarolina2019.pdf>
- Lorenzo-Acosta, Y. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XL(2), 10-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- Lourenço, A., Arnold, J., Gamelas, J. A. F., Cayre, O. J., & Rasteiro, M. G. (2018). Anionic Polyelectrolytes Synthesized in an Aromatic-Free-Oils Process for Application as Flocculants in Dairy-Industry-Effluent Treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(49), 16884-16896. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03546>
- Luo, C. (1997). *Distribution of velocities and velocity gradients in mixing and flocculation vessels: Comparison between LDV data and CFD predictions* [New Jersey Institute of Technology]. <https://digitalcommons.njit.edu/dissertations/1042>
- Marín, J. (2016). *Química del almidón*. https://www.academia.edu/21607198/Qu%C3%ADmica_del_almid%C3%B3n
- Márquez, Y., Salomón, J. L., & Acosta, R. (2020). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 41(1).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-

[59362020000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362020000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Molina, N., Rodríguez, E., & Ariza, C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11, 41-54. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>

Moreira, J., & Ramos, J. F. (2021). *Evaluación de coagulante a partir del almidón de papa (solanum tuberosum) para el tratamiento de aguas en el río Babahoyo* [BachelorThesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54076>

Murillo, S., Galvis, G., & Pacheco, S. (2020). *MANUAL TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE COAGULANTES / FLOCULANTES A PARTIR DE PRODUCTOS NATURALES*. https://www.researchgate.net/publication/344166357_MANUAL_TECNICO_PARA_LA_ELABORACION_DE_COAGULANTES_FLOCULANTES_A_PARTIR_DE_PRODUCTOS_NATURALES

Nimesha, S., Hewawasam, C., Jayasanka, D. J., Murakami, Y., Araki, N., & Maharjan, N. (2022). Effectiveness of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 8(1), 101-116. <https://doi.org/10.22034/GJESM.2022.01.08>

Ojeda, L. (2012). *Determinación de la Eficiencia de las Características Coagulantes y Floculantes del Tropaeolum Tuberosum, en el Tratamiento del Agua Cruda de la Planta de Puengasí de la EPMAPS* [Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3866/1/UPS-QT03424.pdf>

Ordinola, E. (2019). *Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable para tres centros poblados del distrito de Ignacio Escudero* [Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4337/ICI_295.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ordoñez, J., & Torres, R. (2022). *Obtención del coagulante sulfato férrico a partir de la precipitación selectiva de hierro presente en una solución “Barren”* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8106>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Agua | Naciones Unidas*. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Organización Mundial de la Salud. (2022, marzo 21). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ortega, A., caceres, luis, & Castiblanco, laura. (2021). Introducción al uso de Coagulantes Naturales en los Procesos de Potabilización del Agua. *REVISTA AMBIENTAL AGUA AIRE Y SUELO*, 2, 1-14. <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2020.4444>
- Oyegbile, B., Ay, P., & Narra, S. (2016). Flocculation kinetics and hydrodynamic interactions in natural and engineered flow systems: A review. *Environmental Engineering Research*, 21(1), 1-14. <https://doi.org/10.4491/eer.2015.086>
- Pandey, P., & Khan, F. (2023). *Moringa oleifera* Plant as potent alternate to Chemical Coagulant in Water Purification. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 58, e201158. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902022e201158>
- Patiño, M., & Vallejo, B. (2022). *Evaluación de la dosificación de policloruro de aluminio sobre el rendimiento de la coagulación – floculación en la planta potabilizadora de la Junta Administradora de Agua Potable Regional Bayas* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39745>
- Pérez Beltrán, J. P. (2017). *Evaluación de la sustitución del agente coagulante -sulfato de aluminio- en el proceso actual de coagulación—Floculación de agua potable en la empresa EAF SAS ESP* [BachelorThesis, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6371>
- Pérez Caldera, A. D. (2018). *Evaluación de la Influencia del Grado de Polimerización del Policloruro de Aluminio como Coagulante Primario en el Tratamiento de Agua*

[Universidad de Carabobo].

<http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/7005/aperez.pdf?sequence=3>

Pérez Garay, I. F. (2015). *Optimización de la dosificación de sulfato de aluminio para el tratamiento de agua potable del distrito de Vilcacoto* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4549>

Poveda, R. (2022). *Obtención de coagulantes/ floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua* [MasterThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Maestría en Química]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/34289>

Quino, P. (2019). *Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación—Floculación con semillas de durazno (Prunus pérsica), tuna (Opuntia ficus indica) y casacara de papa (Solanum tuberosum) del río Jillusaya* [Thesis, Universidad Mayor de San Andrés]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/25760>

Ravina, R. (1993). *Everything you want to know about Coagulation & Flocculation*. <http://www.zeta-meter.com/coag.pdf>

Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. R. (2018). RESIDUOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN ECUADOR PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), Article 3. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924>

Rivera, D. (2020). *Efecto De La Cáscara De Solanum Tuberosum y Sulfato De Aluminio, En La Disminución De La Turbidez En El Tratamiento De Aguas Residuales* [Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/684>

Rodríguez, J. P., Lugo, I. P., Rojas, A. V., & Malaver, C. (2007). Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico*, 11, 8-16.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30401102>

Rodríguez Salcedo, C. F. (2008). *Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable* [Universidad de Sucre].
<http://repositorio.unisucra.edu.co/handle/001/298>

Rodríguez Torres, J. N. (2013). *Propuesta Metodológica para Tratamiento de Lodos provenientes de Plantas de Potabilización en la Sabana de Bogotá (Estudio de Caso Madrid, Cundinamarca)* [Universidad Libre].
<https://core.ac.uk/download/pdf/198450326.pdf>

Rojas Albeláez, S. M., & Torrado Lemus, D. F. (2007). *Implementación de una unidad piloto de floculación lastrada para evaluar su comportamiento en el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Universidad de La Salle].
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1577&context=ing_ambiental_sanitaria

Rojas Jaraba, D. A., & Bazurto Barros, C. A. (2021). *Optimización en los Sistemas de Floculación—Coagulación—Sedimentación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “La Pola”, durante temporada invernal* [Universidad Católica de Colombia].
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/828c875c-42f0-4bd9-a923-b57e9c4d44b1/content>

Romero Escobar, M. I. (2022). *Estudio de la eficiencia de los coagulantes naturales con respecto a los coagulantes sintéticos utilizados en el tratamiento de agua potable* [Bachelor Thesis, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39218>

Romero Larrea, C. A., & Gutiérrez Albán, A. (2019). *Rendimiento de semilla pre básica de papa (Solanum tuberosum) variedad chaucha roja, proveniente del sistema de*

- producción aeropónico* [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30477>
- Romero Shiguango, L. E. (2019). *Evaluación de la utilización del almidón de papa, yuca y banano como bio coagulantes para el tratamiento de aguas de una industria láctea* [BachelorThesis, Quito: Universidad de las Américas, 2019].
<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11565>
- Romero Shirai, C. P. (2018). *Floculación y Viscosidad de Suspensiones de Sílice Coloidal en Presencia de Sales de Agua de Mar* [Universidad de Concepción].
http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/3519/4/Tesis_Floculacion_y_viscosidad_de_suspensiones.pdf
- Rossel Bernedo, L. J., Rossel Bernedo, L. A., Ferro Mayhua, Ferro Gonzales, A. L., Zapana Quispe, R. R., Rossel Bernedo, L. J., Rossel Bernedo, L. A., Ferro Mayhua, Ferro Gonzales, A. L., & Zapana Quispe, R. R. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 68-77.
<https://doi.org/10.18271/ria.2020.537>
- Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth Vuppala, N. V. (2017). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Applied Water Science*, 7(1), 451-460.
<https://doi.org/10.1007/s13201-014-0262-y>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (1981a). *Harina de origen vegetal. Determinación de la pérdida por calentamiento*. INEN 518.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/518.pdf>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (1981b). *Harinas de origen vegetal. Determinación de la proteína*. INEN 519. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/519.pdf>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza*. INEN 520. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas23/520-1R.pdf>

- Shatat, R. S., Niazi, S. K., & Batati, F. S. A. (2018). Synthetic Polyelectrolytes Based on Polyacrylamide: Non-ionic, Anionic and Cationic Polyacrylamides and Their Applications in Water and Wastewater Treatment: Literature Review. *Chemical Science International Journal*, 1-8. <https://doi.org/10.9734/CSJI/2018/46483>
- Sierra, I., & Guatame, V. (2016). *Análisis comparativo del policloruro de aluminio (pac) y sulfato de aluminio líquido (sal) para la optimización del proceso coagulación en la planta de tratamiento de agua potable Francisco Wiesner* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3471>
- Slinning, S. (2020). *A review of selected natural coagulants in water and wastewater treatment* [Norwegian University of Life Sciences]. <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2721601/Aaroe2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Soares, D., & Bravin, C. (2019). Mathematical modelling and analysis of the flocculation process in low retention time hydraulic flocculators. *Water SA*, 45(1), 1-11. <https://doi.org/10.4314/wsa.v45i1.01>
- Sverguzova, S. V., Sapronova, Z. A., Svyatchenko, A. V., Fomina, E. V., & Malysheva, A. A. (2019). Coagulant on the base of industrial ferriferous waste for the preliminary treatment of multi-component sewage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 552(1), 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/552/1/012026>
- Vargas, L. de. (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Plantas de Filtración Rápida* (1.^a ed., Vol. 1). Cepis. https://www.academia.edu/31389977/Cepis_Plantas_de_Filtracion_R%C3%A1pida
- Vega, N. (2020). *Propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales de la cáscara de papa (Solanum tuberosum) para uso como extensor en productos cárnicos frescos picados* [Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2020.]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6943>
- Vielman, R. (2019). *Determinación del pH óptimo de coagulación mediante los coagulantes sulfato de aluminio y sulfato ferroso de las agujas residuales de una industria de*

alimentos [Universidad de San Carlos de Guatemala].

<https://core.ac.uk/download/pdf/326018378.pdf>

Zarza, L. (2020, noviembre 25). *¿Cuáles son las características físicas y químicas del agua?*

[Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/cuales-son-caracteristicas-fisicas-y-quimicas-agua>

7. Anexos

Anexo A. Resultados de caracterización físico – química del coagulante natural

Parámetro	Medición 1 (%m/m)	Medición 2 (%m/m)	Promedio (%m/m)
Humedad	4,60	4,55	4,575
Cenizas	0,0924	0,0922	0,092
Proteínas	0,108	0,095	0,0101

Anexo B. Resultado de laboratorio externo acreditado MSV



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL SAE CON
ACREDITACION
N°SAE-LEN-16-018

INFORME DE RESULTADOS

Informe: MSV-IE-874-23 suplemento del informe MSV-IE-373-23
Orden de ingreso: OI-125-23
Cuenca, 17 de Mayo del 2023

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: KEVIN CAMPOVERDE
Dirección: AZOGUES
Teléfono: 0995557283

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: HARINA DE CASCARA DE PAPA			
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: AZOGUES	TIPO DE MUESTRA: ALIMENTO	*TIPO DE ENVASE: FUNDA PLASTICA	
*PRESENTACIONES: 151 g		*FORMA DE CONSERVACION: AMBIENTE FRESCO Y SECO	
CODIGO MUESTRA: OI12523	*LOTE: N/A	*FECHA ELAB: 2023-02-01	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-02-17	FECHA ANALISIS: 2023-02-17 - 2023-03-02	FECHA ENTREGA: 2023-05-17	
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	

ENSAYOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO	U(K=2)
*ALMIDON CUANTITATIVO	NMX-F-321-S-1978 - HIDROLISIS ACIDA	%	14.017	---

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U: INCERTIDUMBRE.

Dra. Sandra Guaraca
GERENTE DE LABORATORIO

Cualquier información adicional correspondiente a los ensayos que requiera el cliente, están a disposición. Los datos e información de las muestras (tal como se reciben) y de los clientes, que puedan afectar la validez de los resultados han sido proporcionados por el cliente y son de su exclusiva responsabilidad. El Laboratorio no será responsable de los desvíos encontrados en los libros de ensayo entregados por los clientes que puedan afectar a los resultados, que al ser detectados serán comunicados al cliente.

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. Información proporcionada por el cliente. MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: «Pasa»: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia. «No pasa»: el valor medido está por encima del límite de tolerancia. Se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado. riesgo < 50% de probabilidad de aceptación no pasa, se aplicará en todos los ensayos. MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema).

FMC2104-05

Avenida de las Américas y Turuhuaico, Edificio Miraflores, 3er piso, Cuenca-Ecuador
Teléfono: 074045127 Celular: 0995354172 msvlaboratorio@gmail.com

Página 1 de 1

Anexo C. Procedimientos experimentales**C1. Determinación de Turbiedad**

Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Ambiental del Cantón Azogues

“Una Empresa Municipal al Servicio de Azogues”

ANÁLISIS FÍSICO**MEDICIÓN DE LA TURBIEDAD****MÉTODO****TURBIDÍMETRO DR/2100P****PROCEDIMIENTO**

1. Colocar la muestra en la celda y llenar hasta la marca de color blanco.
2. Limpiar y secar la celda utilizando papel toalla. Asegúrese de que el frasco esté libre de humedad y huellas digitales.
3. Prender el equipo (turbidímetro **2100P** marca **HACH**) presionando la tecla **“POWER”**.
4. Calibrar el equipo, presionando la tecla **“RANGE”** hasta que se lea en la pantalla **AUTO RN**. Luego presionar la tecla **“SIGNAL AVERAGE”** se verá en la pantalla **SIG AUG**.
5. Introducir la celda en el compartimento del equipo y cerrar la tapa.
6. Presionar la tecla marcada como **“READ”**.
7. El equipo empieza a trabajar. Esperar hasta obtener una lectura estable.
8. Leer el valor en pantalla y anotar el resultado en el registro de control de operación.
9. Retirar la celda del equipo.
10. Votar la muestra y lavar la celda.

C2. Determinación de Color

Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Ambiental del Cantón Azogues

“Una Empresa Municipal al Servicio de Azogues”

ANÁLISIS FÍSICO**DETERMINACIÓN DEL COLOR APARENTE****MÉTODO 8021****COLORIMETRO DR/890****PROCEDIMIENTO**

1. Encender el DR/890, presionar **PRGM**.

2. Presionar **19yENTER**. El display le indicara **PtCo** e icono **CERO**.
3. Llenar una celda con 25 ml de agua ionizada. (Blanco).
4. Colocar el blanco en el equipo y cerrar con el cobertor.
5. Presionar **ZERO**, el display le mostrará.
0 mg/L PtCo.
6. Llenar otra celda con 25 ml de la muestra.
7. Inmediatamente introducir la muestra preparada en el equipo y cerrar con el cobertor.
8. Presionar **READ** y se obtiene el resultado en mg/L PtCo.

C3. Determinación de pH

MEDICIÓN DEL PH

PROCEDIMIENTO:

1. Remueva la tapa protectora y la película protectora de la pantalla.
2. Primero enjuague el electrodo con agua destilada y seque con papel.
3. Encienda el medidor presionando la tecla "ON/OFF".
4. Sumerja el electrodo del medidor de ph en la solución a probar (no puede estar sobre la línea de inmersión).
5. Mueva suavemente y espere alrededor de 30 segundos hasta que la lectura se estabilice.
6. Después de terminar, limpie el electrodo con agua destilada, apague el medidor presionando la tecla "ON/OFF".
7. Coloque nuevamente la tapa protectora después de su uso.

C4. Procedimiento para ensayo de prueba de jarras (Sulfato de Aluminio)

Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Ambiental del Cantón Azogues

"Una Empresa Municipal al Servicio de Azogues"

"PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY"

PROCEDIMIENTO: SULFATO DE ALUMINIO

1. Tomar la muestra de agua cruda a la entrada del vertedero (Aproximadamente 30 litros).
2. Realizar las mediciones de: TURBIEDAD, COLOR, PH, TEMPERATURA, STD.
3. Colocar el agua cruda en las 6 jarras hasta la marca (2 litros).
4. Medir en las jeringas las dosis la dosis de SULFATO DE ALUMINIO a aplicar a cada jarra.
5. Encender el equipo, 1 minuto a 290-295 rpm y añadir la dosis respectiva a cada jarra.
6. Agitar durante 7 minutos a 65 rpm.

7. Agitar durante 10 minutos a 40 rpm.
8. Agitar durante 8 minutos a 25 rpm.
9. Agitar durante 20 minutos a 2 rpm. (Sedimentación).
10. Tomar muestras de las 6 jarras y realizar las mediciones de: TURBIEDAD, COLOR, PH, TEMPERATURA, STD.
11. Con los resultados de las mediciones definimos la **Dosis Óptima** de SULFATO DE ALUMINIO.

Anexo D. Resultados de los ensayos de pruebas de jarras

D1. Coagulante natural – Turbiedad baja

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay - Azogues				
Fecha del ensayo	15 de mayo de 2023	Concentración Coagulante natural	5%	
Muestra	Agua cruda			
Turbiedad inicial (NTU)	43,6	Color inicial (Pt/Co)	352	pH 6,83
Volumen de Alícuota (ml)	Dosis (ppm)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)	
1,8	45	27,4	314	
2	50	21,5	299	
2,2	55	21,7	285	
2,4	60	24,5	321	
2,6	65	30,7	295	
2,8	70	30,6	309	

D2. Coagulante natural – Turbiedad media

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay - Azogues				
Fecha del ensayo	22 de mayo de 2023	Concentración Coagulante natural	5%	
Muestra	Agua cruda			
Turbiedad inicial (NTU)	169	Color inicial (Pt/Co)	1150	pH 7,03
Volumen de Alícuota (ml)	Dosis (ppm)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)	
3,2	80	83,1	1065	
3,4	85	76,9	985	
3,6	90	95,4	1115	
3,8	95	57,8	1105	
4	100	58,7	910	
4,2	105	63,3	925	

D3. Coagulante natural – Turbiedad alta

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay - Azogues						
Fecha del ensayo	23 de mayo de 2023	Concentración Coagulante natural	5%			
Muestra	Agua cruda					
Turbiedad inicial (NTU)	328	Color inicial (Pt/Co)	2375	pH	7,2	
Volumen de Alícuota (ml)	Dosis (ppm)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)			
7,4	185	168	1855			
7,6	190	188	1955			
7,8	195	185	1950			
8	200	134	1755			
8,2	205	166	1745			
8,4	210	136	1720			

D4. Sulfato de Aluminio – Turbiedad baja

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay - Azogues						
Fecha del ensayo	19 de mayo de 2023	Concentración Sulfato de aluminio	2%			
Muestra	Agua cruda					
Turbiedad inicial (NTU)	43,8	Color inicial (Pt/Co)	354	pH	7,08	
Volumen de Alícuota (ml)	Dosis (ppm)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)			
1,6	25	3,05	84			
2	30	2,52	74			
2,2	35	3,39	65			
2,6	40	3,04	67			
3	45	3,56	82			
3,3	50	3,89	97			

D5. Sulfato de Aluminio – Turbiedad media

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay - Azogues				
Fecha del ensayo	29 de abril de 2023	Concentración Sulfato de aluminio	2%	
Muestra	Agua cruda			
Turbiedad inicial (NTU)	103	Color inicial (Pt/Co)	975	pH 6,55
Volumen de Alícuota (ml)	Dosis (ppm)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)	
1,4	35	6,01	78	
1,8	45	2,24	24	
2,2	55	4,55	53	
2,6	65	3,18	54	
3	75	13,2	88	
3,4	85	8,3	67	

D6. Sulfato de Aluminio – Turbiedad alta

Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay - Azogues				
Fecha del ensayo	18 de mayo de 2023	Concentración Sulfato de aluminio	3%	
Muestra	Agua cruda			
Turbiedad inicial (NTU)	419	Color inicial (Pt/Co)	3787,5	pH 7,25
Volumen de Alícuota (ml)	Dosis (ppm)	Turbiedad final (NTU)	Color final (Pt/Co)	
3,3	50	5,4	32	
3,6	55	4,38	31	
4	60	3,58	55	
4,3	65	5,68	64	
4,6	70	6,63	38	
5	75	7,18	45	

Anexo E. Obtención del coagulante natural. Evidencia fotográfica



E1. Recepción de materia prima



E2. Selección y lavado



E3. Cortado



E4. Cáscaras de papa



E5. Secado



E6. Cáscaras secas



E7. Triturado



E8. Tamizado



E9. Almacenado

Anexo F. Caracterización del coagulante natural. Evidencia fotográfica



F1. Determinación de Humedad (I)



F2. Determinación de Humedad (II)



F3. Determinación de cenizas (I)



F4. Determinación de cenizas (II)



F5. Determinación de proteínas (digestión)



F6. Determinación de proteínas (destilación)



F7. Determinación de proteínas (valoración)

Anexo G. Evaluación del poder coagulante – floculante. Evidencia fotográfica



G1. Toma de muestra



G2. Medición de turbiedad



G3. Medición de color



G4. Preparación de solución – coagulante natural



G5. Preparación de solución – sulfato de aluminio



G6. Soluciones



G7. Ensayo de prueba de jarras