



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“Remoción de turbidez del agua utilizando cono de pino como
coagulante natural, Tarapoto – San Martín”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Química

AUTOR

Montenegro Fernández, Itala Isabeth

ASESOR

Dr. Huangal Scheineder, Sebastián

Lambayeque, 27 de Octubre de 2021

**“Remoción de turbidez del agua utilizando cono de pino como
coagulante natural, Tarapoto – San Martín”**


ELABORADO POR:

Bach.: ITALA ISABETH MONTENEGRO FERNÁNDEZ

JURADO:



PRESIDENTE
Dr. José Luis Venegas Kemper



SECRETARIO
Dr. Ángel Wilson Mercado Seminario



VOCAL
Dr. Jaime Lucho Cieza Sánchez

ASESORADO POR:



Dr. SEBASTIÁN HUANGAL SCHEINER

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres (Jorge Montenegro y Lila Fernández) por su amor infinito, por todos los sacrificios que hicieron para regalarme la mejor herencia mi carrera profesional, por sus consejos, gracias por creer en mí, a ustedes les debo todo. A mi hermana Ataly por el apoyo moral que siempre me brindó a lo largo de esta etapa.

Asimismo a mi novio Guzmán que con su amor incondicional, apoyo económico y paciencia, me ayudó a concluir esta meta.

Itala Isabeth Montenegro Fernández

AGRADECIMIENTO

Agradecer principalmente a Dios, por bendecir mi vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Dar las gracias infinitas a mis padres, hermanos, novio y familia por ser el pilar fundamental y el motor de mi vida.

De manera especial a mi asesor Dr. Sebastián Huangal Scheineder por brindarme su asesoramiento para poder culminar con éxito la investigación, asimismo por guiarme académicamente con su experiencia y profesionalismo, de igual forma a mis mejores amigas Mirtha y Cielo a quienes estimo tanto, agradezco su apoyo incondicional, por facilitarme los caminos para seguir, sin pedir nada a cambio y sin dudar de mi capacidad.

LA AUTORA.

RESUMEN

Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes, así como coadyuvantes de coagulación que permitan eliminar las partículas en suspensión. La turbidez es una impureza característica del agua. El pino (*Pinus*) está disponible en todo el Perú, lo que ha motivado este estudio de remoción de turbidez del agua utilizando cono de pino como coagulante natural, ya que representa una alternativa sostenible, ambiental, económica y segura para mejorar la calidad del agua. El objetivo principal de este estudio es determinar en qué medida el coagulante natural de cono de pino remueve la turbidez del agua, Tarapoto – San Martín.

Para preparar el coagulante natural se utilizó 50 g de polvo de cono de pino y se mezcló con 1 L de agua desionizada, seguidamente se agitó a 400 rpm por 60 min a temperatura ambiente. En la actividad de coagulación se prueba utilizando agua del río Shilcayo de la provincia de San Martín con extracto de cono de pino mediante la prueba de jarras a 200 rpm durante 1 min (velocidad rápida) y 30 rpm durante 20 min (velocidad lenta). Las suspensiones se dejaron reposar. Después de 3 h de sedimentación, se recogieron muestras clarificadas y se midió la turbidez residual utilizando un turbidímetro. Como resultado se logró una eficiencia de 62 % de remoción de turbidez con una dosificación de 0.5 ml/L de solución de este coagulante natural. Se concluye que se determinó la medida del coagulante natural de cono de pino para remover la turbidez del agua, Tarapoto – San Martín, logrando una eficiencia de 62 % a un pH=7, determinando los niveles de parámetros de control (turbidez, pH, color, alcalinidad y dureza) durante el pre y post tratamiento, además, se concluye que los valores de pH muy ácidos o básicos pueden activar las proteínas en el coagulante para lograr la máxima actividad.

Palabras claves: Remoción, Turbidez, Cono de pino, Coagulante natural.

ABSTRACT

To achieve water clarification, the use of coagulating agents is necessary, as well as coagulation aids that can eliminate suspended particles. Turbidity is a characteristic impurity of water. Pine (Pinus) is available throughout Peru, which has motivated this study of water turbidity removal using pine cone as a natural coagulant, since it represents a sustainable, environmental, economic and safe alternative to improve water quality. The main objective of this study is to determine to what extent the natural pine cone coagulant removes water turbidity, Tarapoto - San Martín.

To prepare the natural coagulant 50 g of pine cone powder was used and mixed with 1 L of deionized water, then stirred at 400 rpm for 60 min at room temperature. In the coagulation activity, it is tested using water from the Shilcayo river of the province of San Martín with pine cone extract through the jar test at 200 rpm for 1 min (fast speed) and 30 rpm for 20 min (slow speed). The suspensions were left to rest. After 3 h of sedimentation, clarified samples were collected and the residual turbidity was measured using a turbidimeter. As a result, a 62% turbidity removal efficiency was obtained with a dosage of 0.5 ml / L of solution of this natural coagulant. It is concluded that the measurement of the natural pine cone coagulant was determined to remove the turbidity of the water, Tarapoto - San Martín, achieving an efficiency of 62% at pH = 7, determining the levels of control parameters (turbidity, pH, color, alkalinity and hardness) during the pre and post treatment, in addition, it is concluded that very acidic or basic pH values can activate the proteins in the coagulant to achieve maximum activity.

Keywords: Removal, Turbidity, Pine cone, Natural coagulant.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS..... | 4 |
| 2.1. Antecedentes | 4 |
| 2.2. Bases teóricas | 7 |
| III. MÉTODOS Y MATERIALES..... | 15 |
| 3.1 Descripción del ambito de estudio | 15 |
| 3.1.1. Tipo de estudio | 15 |
| 3.1.2. Población y muestra | 15 |
| 3.2 Materiales, equipos y reactivos | 16 |
| 3.3 Tecnica de recolección de datos..... | 17 |
| 3.4 Definición y operacionalización de variables | 17 |
| 3.5 Diseño experimental | 17 |
| 3.6 Método | 18 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 20 |
| 4.1 Resultados | 20 |
| 4.2 Discusión..... | 35 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 37 |
| 5.1 Conclusiones | 37 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 38 |
| VI. REFERENCIAS | 39 |
| ANEXOS | 42 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Efecto de la dosis de coagulante para remover la turbiedad en la actividad de coagulación | 20 |
| Tabla 2. Efecto del pH sobre la actividad de coagulación con una turbiedad inicial de 94 NTU..... | 22 |
| Tabla 3. Efecto del pH sobre la actividad de coagulación con una turbiedad inicial de 205 NTU..... | 22 |
| Tabla 4. Tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación con turbidez inicial de 94 NTU..... | 24 |
| Tabla 5. Tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación con turbidez inicial de 205 NTU..... | 25 |
| Tabla 6. Variación del color residual en función a dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 40 UCV escala Pt/Co..... | 27 |
| Tabla 7. Variación del color residual en función a dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 150 UCV escala Pt/Co..... | 27 |
| Tabla 8. Variación del color residual en función a dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 250 UCV escala Pt/Co..... | 28 |
| Tabla 9. Efecto del coagulante natural de cono de pino sobre la alcalinidad con una concentración inicial de 32 mg/L | 29 |
| Tabla 10. Efecto del coagulante natural de cono de pino sobre la alcalinidad con una concentración inicial de 35 mg/L | 30 |

| | |
|--|----|
| Tabla 11. Efecto del coagulante natural de cono de pino sobre la alcalinidad con una concentración inicial de 40 mg/L..... | 30 |
| Tabla 12. V Valores de dureza después del proceso de coagulación con diferentes dosificaciones de coagulante natural de cono de pino - dureza inicial de 30mg/L.... | 32 |
| Tabla 13. Valores de dureza después del proceso de coagulación con diferente dosificaciones de coagulante natural de cono de pino - dureza inicial de 34 mg/L..... | 32 |
| Tabla 14. Valores de dureza después del proceso de coagulación con diferente dosificaciones de coagulante natural de cono de pino - dureza inicial de 38 mg/L..... | 33 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Curva del efecto de la dosis de coagulante para remover la turbiedad en la actividad de coagulación..... | 21 |
| Figura 2. Efecto del pH sobre la actividad de coagulación con turbiedades de 94 y 205 NTU..... | 23 |
| Figura 3. Efecto del tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación con turbidez inicial de 94 NTU y 205 NTU – pH 7 | 25 |
| Figura 4. Remoción de color en función a dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 40, 150 y 250 UCV escala Pt/Co | 28 |
| Figura 5. Variación de la alcalinidad (mg/L) producto de la dosificación de coagulante natural de cono de pin..... | 31 |
| Figura 6. Efecto de dureza con diferentes dosificaciones de coagulante natural de cono de pino..... | 33 |
| Figura 7. Lavado del cono de pino | 41 |
| Figura 8. Cono de pino eco después del secado con luz del sol | 41 |
| Figura 9. Secado de conos de pino en horno a 80 ° C durante 24 h | 43 |
| Figura 10. Cono de pino cortado | 43 |
| Figura 11. Cono de pino molido (150µm) | 44 |
| Figura 12. Preparación del coagulante de cono de pino a 400 rpm por 60 minutos..... | 44 |
| Figura 13. Filtración de solución que contiene el coagulante activo, usando filtros de 1.2 µm | 45 |
| Figura 14. Solución de coagulante activo de cono de pino | 45 |

| | |
|---|----|
| Figura 15. Prueba de jarras..... | 46 |
| Figura 16. Determinación de dureza por el método de titulación..... | 46 |

I. INTRODUCCIÓN

En el proceso de potabilización de las aguas, la clarificación es una de las etapas más importantes ya que permite la remoción de materiales de naturaleza coloidal en suspensión, tales como arcilla, limo y lodos. Para lograr la clarificación del agua, es necesaria la utilización de agentes coagulantes, así como coadyuvantes de coagulación que permiten eliminar un porcentaje significativo de las partículas en suspensión (típicamente entre 80 y 90 %) (CEPIS, 1983).

El río Shilcayo es una de las fuentes de aguas superficiales que utiliza EMAPA SAN MARTIN S.A. para la producción de agua potable en la ciudad de Tarapoto, sin embargo, las condiciones naturales (como las estaciones del año, las precipitaciones pluviales, la erosión hídrica, la materia orgánica putrescible en el agua provenientes de hojas o desechos animales) y antrópicas (deforestación, turismo no responsable, vertimientos de aguas residuales) en el área de la cuenca del río Shilcayo tienen la potencialidad de alterar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua que ingresa a la planta de tratamiento, producto de estos factores la turbidez del agua, color y el pH no son constantes en el tiempo, por lo que utilizan el sulfato de aluminio como agente coagulante-floculante, debido a que es altamente efectivo. Los inconvenientes de este producto (al igual que los polímeros sintéticos) es el elevado costo y significan una problemática ambiental debido a su acumulación en el medio ambiente en forma de lodos no biodegradables que no pueden reciclarse fácilmente, poniendo a la población en riesgo de posibles enfermedades como el Alzheimer. (Sanghi et al., 2006, p.36)

Según La Organización Mundial de la Salud (OMS), el consumo de agua contaminada y la falta de acceso a servicios mejorados de saneamiento, está relacionada a más de 4.000 muertes prematuras al año en América Latina. El Perú cuenta con una problemática muy preocupante en calidad del agua y al acceso de saneamiento básico de la población. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), en su documento “Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico” por área de residencia; el 28,1% de las personas del área rural no tienen acceso a agua por red pública, de los cuales en mayor porcentaje (16,9%) acceden a agua por río, acequia o manantial, seguido de pozo (5,1%). En el área urbana, el 5,6% de su población, no cuenta con un servicio básico de saneamiento del recurso y consumen agua proveniente de camión cisterna el 1,3%, de pozo el 1,2% y de río, acequia o manantial u otro suman el 3,2%. En el Departamento de San Martín solo el 87.1% de los habitantes tiene acceso al agua potable. El pino (*Pinus*) está disponible en todo el Perú, lo que ha motivado el estudio de la Remoción de turbidez del agua utilizando cono de pino como coagulante natural, ya que representa como una nueva alternativa viable para mejorar la calidad del agua.

Este estudio tiene como objetivo principal evaluar en qué magnitud el coagulante natural cono de pino remueve la turbidez del agua, Tarapoto – San Martín; Para ello, se han trazado los siguientes objetivos específicos: Obtener el coagulante natural de cono de pino y aplicarlo en aguas provenientes del río Shilcayo para remover la turbidez; Determinar los niveles de turbidez, pH, color, alcalinidad, dureza de las aguas proveniente del río Shilcayo durante el pre y post tratamiento usando cono de pino

como coagulante natural; Determinar la dosis óptima de coagulante natural de cono de pino y el tiempo de asentamiento; mediante el proceso de clarificación, usando el equipo prueba de jarras.

La hipótesis de informe es: Si el cono de pino actúa como coagulante natural; entonces, removerá la turbidez del agua, Tarapoto – San Martín.

Por lo tanto, la aplicación de esta nueva tecnología será un éxito, ya que representa una alternativa sostenible, ambiental, económica y segura para mejorar la calidad del agua.

El resultado de esta investigación es positivo, se logra una eficiencia de 62 % de remoción de turbidez utilizando cono de pino como coagulante natural; además, este coagulante natural es económico y amigable en el medio ambiente, por lo que proviene de una fuente renovable.

El informe cuenta con seis capítulos, en el capítulo uno detallamos una introducción para brindar una visión sintética del estudio; en el capítulo dos hace de referencia a los antecedentes y base teórica de diversos términos esenciales para la investigación; en el capítulo tres, detallamos la metodología y materiales a utilizar; en el capítulo cuatro, se trató las controversias de procedimiento y resultados; en el capítulo cinco se exponen las conclusiones del proyecto y las recomendaciones para trabajos futuros.

II. ANTECEDENTES Y BASES TEORICAS

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Sajid, Awais & Ashfaq (2019), “Extracto de cono pino como coagulante natural para la purificación de agua turbia”. La presente investigación tiene como objetivo reducir la turbidez del agua utilizando coagulantes naturales, extraídos de conos de pino. La actividad del coagulante se prueba usando agua turbia sintética y se ve afectada por diversos factores, como la dosis de coagulante, la turbidez del agua, el pH, la densidad del extracto y el tiempo de sedimentación. La dosis óptima de coagulante y la turbidez del agua son fijas; 0.5 ml/L, 67 y 75 NTU, respectivamente. Las actividades de coagulación más altas se observan a valores de pH 2 y 12. Además, la actividad de coagulación del extracto de cono de pino se maximiza al 82% cuando su densidad es de 1,8 g/cm³. Además, la mayor parte de la actividad de coagulación tiene lugar en la primera hora. Los resultados recomiendan el uso potencial del extracto de cono de pino para la purificación de agua turbia.

Olivero et al. (2017), en su estudio “Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas” cuyo objetivo fue evaluar el desempeño de tres coagulantes para la remoción de sólidos suspendidos y disueltos para el tratamiento del agua del río Magdalena. Utilizaron un diseño experimental de 8x3x2, compararon los resultados con los coagulantes por separado y mezclados para saber si el uso de sulfato de aluminio en los porcentajes dados altera la clarificación; se compararon los valores aceptables de los parámetros fisicoquímicos para el agua potable de 2 UNT para

la turbidez, y entre 0.10 y 0.20 para el color, señalados en la normativa de Colombia. Concluyen que los resultados obtenidos mezclando *Moringa oleifera* y *Opuntia ficus* se puede remover un porcentaje de turbidez mayor a 90%, en comparación con mezcla de alumbre y coagulantes naturales, la cual puede remover al menos un 99% de turbidez en el agua; a su vez, se lograron visualizar una disminución en los sólidos por medio de la absorbancia.

Carrasquero, Montiel, Faría, Parra, Marín & Díaz (2017), Esta investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad de la remoción de turbidez y color utilizando coagulantes obtenidos de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y residuos de banano (*Musa paradisiaca*) durante el tratamiento de aguas de baja, media y alta turbidez. Se prepararon soluciones turbias sintéticas con valores iniciales de 10, 15, 25, 75, 100 y 200 NTU. Las soluciones coagulantes preparadas a partir de cáscara de papa y residuos de banano se caracterizaron físicamente por los parámetros: pH, color, turbidez, sólidos totales, disueltos y suspendidos. Se utilizó la prueba de Jarras para determinar las dosis óptimas de las soluciones coagulantes preparadas utilizando dosis de 10, 25, 50, 100, 250 y 500 mg/L para cada valor de turbidez inicial. Las remociones de turbidez más altas usando las soluciones coagulantes de cáscara de papa y residuos de plátano fueron 99.6 y 99.5% en el agua de 200 NTU con dosis de 50 y 25 mg/L, respectivamente. Se concluyó que las soluciones preparadas a partir de residuos vegetales pueden utilizarse como coagulantes primarios en el tratamiento del agua como alternativa al uso de coagulantes tradicionales..

2.1.2. A nivel nacional

López (2018), En su investigación, "Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas", evaluó la efectividad del cactus *Opuntia ficus-indica* cuando se utiliza como coagulante natural para eliminar la turbidez presente en muestras de agua sintética preparadas en laboratorio, con valores de turbidez inicial de 20, 50, 100, 300 y 500 NTU; Para ello, se determinaron los parámetros óptimos del coagulante natural: dosis, concentración y pH, para cada nivel de turbidez; Asimismo, se ha comparado el coagulante natural con el coagulante químico de sulfato de aluminio en cuanto a la variación de los parámetros físico-químicos de las muestras de agua: turbidez, pH, color y conductividad. Los resultados indican que al aplicar el coagulante natural en la prueba de maceta, se obtuvo un rango de remoción de turbidez de 58% a 86%; Asimismo, las dosis óptimas para muestras de 20, 50, 100, 300 y 500 NTU fueron respectivamente 30, 45, 55, 75 y 90 mg/L, se demostró que el coagulante químico sulfato de aluminio es más eficaz para eliminar la turbidez que el cactus *Opuntia ficus-indica*, sin embargo, este último logró eliminar el 86% de la turbidez en muestras de 500 NTU.

Maldonado (2018), El objetivo de este trabajo de investigación es determinar en qué medida el clarificador natural elimina la turbidez y los colores en las aguas de los arroyos Juninguillo - La Mina, Moyobamba - San Martín. En este estudio, se utilizó almidón de yuca como clarificador natural, eliminando el 48% del color original y el 50% de la turbidez inicial con una concentración óptima de 1 mg/l de solución de almidón de yuca, una tasa de 150 rpm para turbidez y 200 rpm. fue. por el color. Dado que los valores no fueron los esperados, se concluye que usar almidón de yuca como coagulante natural

para la purificación del agua y luego para el consumo humano es muy fácil. Por tanto, es recomendable utilizarlos para el tratamiento funcional de aguas contaminadas..

Reyes & Guevara (2017), En su investigación, recibieron almidón de plátano modificado (*Musa paradisiaca* spp.) Como coagulante natural utilizando anhídrido acético y NaOH. Este coagulante se utilizó en la coagulación - floculación del agua del arroyo Rumiyacu. Como resultado, utilizando almidón modificado al 2%, lograron una eliminación del color del 95% y una eliminación de la turbidez del 95%, con un 1% de almidón nativo con un 60% de eliminación del color. diferencia significativa en la remoción total de sólidos disueltos. Además, el coagulante modificado actúa de forma muy brusca cuando las muestras se acidifican, por lo que el valor del pH varía..

2.1.3. A nivel local

No se encontraron señales de advertencia locales. Sin embargo, en nuestra ciudad existen plantas de tratamiento de agua para consumo humano donde se puede disfrutar de este tema de calidad y acceso a los recursos sanitarios básicos de la población. Sin embargo, no hay ningún estudio sobre el uso de piñas como coagulante natural para eliminar la turbidez del agua.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El agua

El agua es una molécula muy estable, se caracteriza por ser incolora, inodoro e insípida, compuesta por la unión, por enlaces covalentes, de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; su fórmula molecular es H_2O , (García, 2009).

2.2.1.1. Características del agua

a. Características físicas: afectan directamente las condiciones estéticas y la aceptación del agua. Se consideran importantes: turbidez, sólidos solubles e insolubles, color, olor y sabor, temperatura (García et al., 2000).

- **Turbidez:** medida del grado en que el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión (Ministério da Saúde, 2011).
- **Sólidos totales:** Según CEPIS (2004), después de secar una muestra, queda un residuo conocido como sólidos. Corresponden a la suma de residuos disueltos y suspendidos. Toda el agua residual se determina a 103-105° C.

b. Características químicas: El agua, como disolvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda de consumo o los que tienen efectos sobre la salud del consumidor. Las características e importancia de los principales parámetros químicos relacionados con las fuentes de suministro, así como las recomendaciones de los criterios de calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (Ministerio de Salud, 2011).

- **Alcalinidad:** La capacidad del agua para neutralizar los ácidos (efecto tampón), por lo que el valor del pH permanece relativamente estable. (Ministerio de Salud, 2011)

- **DQO:** Es un parámetro que mide la cantidad de materia sensible a la oxigenación química contenida en el agua. En esta medida, los microorganismos de óxido son reemplazados por un potente agente químico como el dicromato de potasio (DQO - Cr) o el permanganato de potasio (DQO-Mn) en un ambiente ácido. La ventaja de este método es la rápida oxidación y da una idea cuantitativa de la cantidad de sustancias sensibles a la oxigenación que existen en el agua, inorgánicas u orgánicas. El resultado se expresa en mg O₂/L, que representa la cantidad de oxígeno equivalente al oxidante químico utilizado en la determinación..(Orozco et al., 2004)
- **pH:** Medida de la acidez o alcalinidad de una solución, determinada por la cantidad de iones de hidrógeno presentes. Su escala varía de 0 a 14, con una sustancia neutra con un valor de 7; Los valores de PH superiores a 7 determinan que la sustancia es básica, y si es inferior a 7, se dice que es ácida.. (Ministerio de Salud, 2011)

c. Características biológicas: En un sistema acuático, la luz solar regula la fotosíntesis y los organismos que contienen clorofila acumulan energía que utilizan para su mantenimiento, crecimiento y reproducción. Este grupo de organismos son los principales productores, su energía se transmite a animales herbívoros, como Cladoceros, Copépodos y Rotíferos, que se alimentan de algas, que a su vez sirven de alimento a consumidores de sucesivos pedidos. (Aldana, 2012, p.182)

2.2.2. Potabilización de agua

Proceso por el cual el agua corriente se convierte en agua potable. El agua potable tiene ciertas características físicas, biológicas y químicas que cumplen con los estándares de calidad, estos estándares son determinados por las autoridades competentes. Cabe destacar que el agua de bebida ha sido tratada para que sea apta para el consumo humano y animal sin temor a contraer enfermedades. (Romero, 2008, p.1)

2.2.3. Río Shilcayo

Fuente de abastecimiento para la cuenca del río Shilcayo, cuyo nacimiento se ubica aproximadamente a 15 km de la ciudad de Tarapoto, en su recorrido recoge pequeños manantiales que aumentan su caudal. La cuenca hidrográfica de Emapa San Martín S. A. fue construida en 1967, con un caudal proyectado de 120 Lps. (Nuñez, 2017, p.3)

2.2.4. Cono de pino

Pinus es un género de plantas vasculares (generalmente árboles y raramente arbustos), comúnmente denominados pinos, pertenecientes al grupo de las coníferas y, dentro de él, a la familia Pinaceae, que suelen tener verticilos y más ramificaciones. o menos regular (Riveros, 2017). Los conos son las semillas de los pinos. Los más pequeños se llaman conos masculinos; los conos femeninos tienen un tamaño más desarrollado.

Todos nacen al final de las ramas jóvenes, generalmente en invierno y su maduración es durante la primavera. Alcanzando medidas de 2 a 12 mm de longitud.

- Nombre científico: Pinus
- Clase: Coniferae
- Orden: Pinales
- Reino: Plantae
- Categoría: Género
- Clasificación superior: Pinaceae

Ndabigengesere y col. (1995) encontraron que las proteínas presentes en extractos de plantas (con un peso molecular de 13 kDa) son componentes activos para la coagulación.

Perú tiene más de 11. 000 ha de este género plantadas, la mayor superficie se encuentra en Cajamarca-Porcón, (8. 000 ha) que comprende *P. patula*, *P. ellioti* y *P. radiata*. En Selva Central también existen plantaciones con especies de pinos tropicales, como: *P. tecunumanii*, *P. oocarpa* y *P. caribaea*, instaladas con buenos resultados de adaptabilidad. (Riveros, 2017)

2.2.5. Coagulación

El agua contiene materia en suspensión y sólidos que pueden sedimentar. Una parte importante de los sólidos que no sedimentan pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula se estabiliza mediante una serie de cargas del mismo signo en su superficie, lo que repele dos partículas conectadas.. (Universidad de Castilla La Mancha, 2005)

a) Factores que repercuten en la coagulación de la turbidez

Al menos ocho factores que pueden alterar la turbidez involucran la turbidez de la coagulación, tales como: dosis de coagulantes;pH;concentración coloidal o turbidez;concentración de sustancias orgánicas en agua;iones disueltos presentes, partículas y temperatura.. (Arboleda, 2000).

- **Influencia del pH:** Durante la coagulación, el valor del pH debe ser monitoreado principalmente, ya que el rango de pH es función del tipo de coagulante utilizado y la naturaleza del agua a tratar, ya que para cada tipo de agua existe un rango de pH ideal, entonces si este proceso se realiza fuera del rango de pH ideal, la cantidad de coagulante debe aumentarse, por lo que la dosis requerida es mayor. (Rodier, 1990)
- **Influencia de la temperatura del agua:** La dificultad de sedimentación de una escama se debe a: el cambio en la temperatura del agua de 1 ° C conduce a la formación de flujos de densidad (cambio en la densidad del agua) en diversos grados, que afectan la energía cinética de partículas en suspensión, de modo que la coagulación se ralentiza;de manera similar, las altas temperaturas son desfavorables para la coagulación y una disminución de la temperatura del agua en una unidad de sedimentación conduce a un aumento de su viscosidad. (Rodier, 1990)
- **Influencia de la dosis de coagulante:** La eficacia de la coagulación está directamente influenciada por la cantidad de coagulante utilizada, especificando que la pequeña cantidad de coagulante no neutraliza completamente la carga de la partícula, por lo que la formación de microflocs es muy baja, por lo que queda ambigüedad. es elevado. Por tanto, la alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, provocando la formación de una gran cantidad

de micropares de tamaños muy pequeños, cuyas velocidades sedimentarias son muy bajas, pero también la turbidez residual es alta. La elección del coagulante y la cantidad óptima de aplicación, determinada por pruebas de frascos.. (Vázquez, 1994)

- **Influencia de la mezcla:** El grado de agitación dado al cuerpo de agua durante la adición del coagulante determina si la coagulación es completa; turbulencia desigual significa que una parte del agua tiene una mayor concentración de coagulante y la otra parte tiene poco o nada. Durante la coagulación y la floculación, los productos químicos se mezclan en dos etapas. En la primera fase la mezcla es vigorosa y de corta duración (máx. 60 segundos). Llamado mezcla rápida. El propósito de esta mezcla es dispersar todo el coagulante dentro del volumen de agua a tratar, y en la segunda fase el mezclado es lento y está destinado a desarrollar microescamas.. (Arboleda, 2000)

b) Tipos de coagulantes

- **Coagulantes orgánicos:** La materia prima propuesta para el tratamiento del agua se extrae de la naturaleza sin ningún proceso invasivo; Los dos agentes naturales más estudiados y utilizados en el mundo y que tienen una gran capacidad en los procesos de coagulación del agua son la Moringa oleifera y diferentes tipos de cactus; ser una alternativa ecológicamente sostenible para las poblaciones que no tienen acceso al agua debido a su situación socioeconómica (Ramírez y Jaramillo, 2015).

- **Coagulantes inorgánicos:** Los productos más comunes en la depuración química de agua son: sulfato de aluminio, cloruro de aluminio/aluminio policlorado, aluminato de sodio, cloruros de hierro, sulfatos de hierro y mezclas inorgánicas/orgánicas. (Tuomas, 2001).

c) Coloide

Son suspensiones estables, por lo que su sedimentación natural es imposible, son sustancias responsables de la turbidez y color del agua. Los sistemas coloidales presentan una enorme superficie de contacto entre la fase sólida y la fase líquida, por ejemplo 1 cubo de 1 cm³, tiene una superficie total de 6 cm²; si se divide en pequeños cubos elementales, el área total de todos es mucho mayor. (Andia, 2000)

2.2.6. Prueba de jarras

Esta prueba se lleva a cabo con el propósito de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para lograr un floc con las mejores características. Así en otras palabras la Prueba de Jarras es la que simula de la mejor manera la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Mencionando que un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. En definitiva para la simulación de la etapa de clarificación en un laboratorio a escala se debe determinar, la coagulación química y la dosificación idónea de reactivos. (Restrepo, 2009).

III. MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. Descripción del ámbito de estudio

3.1.1. Tipo de estudio.

El estudio es de tipo experimental, llevándose a cabo en el Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad y en el laboratorio de Procesos de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado San Martín Sociedad Anónima (EMAPA S.A.).

3.1.2. Población y muestra.

3.1.2.1. Población.

La población de donde se obtiene las muestras de agua es del río Shilcayo, en el distrito de Tarapoto, Provincia de San Martín en el Departamento de San Martín.

3.1.2.2. Muestra.

Para realizar la parte experimental se tomó muestra del río Shilcayo, una cantidad de 13 litros de agua por ensayo tomado por muestreo al azar (muestreo por conveniencia), las cuales 12 litros fueron para el análisis en el laboratorio con pruebas de jarras y 1 litro por requerimiento del laboratorio de Aseguramiento de Calidad de Emapa San Martín S.A., para el análisis de los parámetros de color, dureza, alcalinidad, pH y turbidez.

Un equipo de prueba de jarras tiene 6 jarras, cada jarra utiliza 2 litros de agua, más 1 litro por requerimiento del laboratorio, por lo tanto: $n = 13$ Litros por ensayo.

3.2. Materiales, equipos y reactivos

3.2.1. Materiales y reactivos.

- Botellas de vidrio (250 ml)
- Crisol
- Fiolas (100 ml)
- Matraz de Erlenmeyer (100 y 250 ml)
- Pipetas (1, 5, 10, 15, 20, 25 y 50 ml) marca BRAND.
- Tamizado (Malla fija de 150 μ m)
- Bidones (20 litros)
- Agua destilada

3.2.2. Equipos.

- Balanza analítica de 210 gr., marca OHAUS.
- Cronómetro
- Equipo de prueba de Jarras Phipps & Bird.
- Refrigerador, marca Mabe.
- Estufa, marca ESCO ISOTHERM.
- Molino manual, marca CORONA.
- Multiparámetro, Modelo CON450, marca HACH.
- pH-metro digital HACH, modelo HQ411d
- Turbidímetro modelo 2100Q, marca HACH.

3.3. Técnicas de recolección de datos

- Registros de medición de parámetros de turbidez, pH, color, alcalinidad y dureza.
- Registro de prueba de jarras.
- Observación.

3.4. Definición y operacionalización de variables

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Indicador | Unidad de medición |
|--|--|---|--------------|----------------------------------|
| Independiente: Cono de pino como coagulante natural. | Capacidad del cono de pino para actuar como biocoagulante | El cono de pino provoca la agrupación de las partículas que determinan la turbiedad, permitiendo su remoción. | Cono de pino | mg de cono de pino/Litro de agua |
| Dependiente: Remoción de la turbidez del agua. | Remoción de partículas, | Muestras de agua procedentes del río Shilcayo sometidas al | Color | UCV |
| | disueltas, | proceso de coagulación | Turbidez | NTU |
| | coloidales y suspendidas a partir de la aplicación de un coagulante. | a distintas dosis de coagulante natural (cono de pino) en ensayos de laboratorio. | Alcalinidad | ppm como CaCO_3 |
| | | | pH | 6.5 - 8.5 |
| | | | Dureza | mg/L |

Nota: Elaboración Propia.

3.5. Diseño experimental

El coagulante natural de cono de pino demostró que al aplicarlo en el agua proveniente del río Shilcayo removi6 la turbidez. Se efectuaron y analizaron los ensayos necesarios con el equipo de prueba de jarras, por cada ensayo se utilizaron 13 litros de agua cruda. Se prob6 con dosis de 0.25 a 1.5 ppm de cantidad de

coagulante natural. El diseño de investigación es con un grupo al azar, con pre y post prueba, cuyo esquema es:



Donde:

A_1 = Parámetros iniciales del agua proveniente del río Shilcayo, antes del tratamiento (preprueba).

T = Remoción de turbidez del agua proveniente del río Shilcayo usando coagulante natural de cono de pino.

A_2 = Parámetros finales del agua proveniente del río Shilcayo, después del tratamiento con coagulante natural de cono de pino (post prueba).

3.6. Método

Preparación de coagulante

Los conos de pino se secaron a la luz del sol por 5 días, después se lavó con agua del grifo adecuada tres veces para eliminar cualquier impureza que pueda reducir las propiedades de coagulación del material. Los conos de pino se pusieron en horno a 80°C durante 24 h para secar. Los conos secos se cortaron manualmente, luego se lavó con agua del grifo y se dejó secar en horno a 200°C durante 2 h. Esta biomasa se sometió a molienda utilizando un molino manual hasta obtener una molienda fina. El material molido se tamizó para obtener tamaños de partícula de $150\text{ }\mu\text{m}$. El polvo se lavó con agua destilada hasta la eliminación del color y la acidez para producir biomasa con un pH de 7.0 (Sajid et al. 2019).

Se utilizó 50 g/L de polvo de cono de pino y se mezcló con agua, seguidamente se agitó a 400 rpm con un agitador magnético durante 60 minutos a

temperatura ambiente. La suspensión se dejó reposar durante 30 min. La solución sobrenadante que contenía el coagulante activo se filtró a través de un filtro de vacío y el filtrado se almacenó inicialmente a 4 ° C en un refrigerador (Sajid et al. 2019).

Prueba de coagulación

La actividad de coagulación del extracto de cono de pino se determinó mediante la prueba de Jarras utilizando la metodología de Sajid et al. (2019). Se llenaron 2000 ml de agua de turbidez iniciales en jarras de 2500 ml. El extracto de cono de pino con dosis variables se agregó a estas jarras y se mezclaron a 200 rpm durante 1 minuto (velocidad rápida), y 30 rpm durante 20 minutos (velocidad lenta). Las suspensiones se dejaron reposar. Después de 3 h de sedimentación, se recogieron muestras clarificadas de la prueba de jarras y se midieron sus turbidez residuales utilizando un turbidímetro. La actividad de la coagulación se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Actividad de coagulación} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} \times 100$$

Seguidamente se analizó los parámetros de color, turbiedad, dureza, alcalinidad y pH en las instalaciones del Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad de EMAPA S.A.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinación de la dosis óptima de remoción de turbiedad utilizando cono de pino como coagulante natural

Inicialmente, se estableció la cantidad óptima de coagulante natural de cono de pino con la finalidad de conocer la mejor eficiencia del coagulante con respecto a la clarificación del agua (relacionado con los parámetros de turbidez, pH, color, dureza y alcalinidad). Para esto se realizaron tres ensayos, los cuales contenían seis muestras por ensayo, teniéndose un total de 18 muestras. De manera que, se presenta los resultados logrados:

Tabla 1

Efecto de la dosis de coagulante para remover la turbiedad en la actividad de coagulación.

| Ensayo | N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------|------------------|------|------|------|------|------|------|
| N° | Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| 1 | Turbidez inicial | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 |
| | Turbidez final | 69.5 | 35.7 | 52.2 | 48.9 | 46.3 | 44.1 |
| | Eficiencia | 26.1 | 62.0 | 44.5 | 48.0 | 50.7 | 53.1 |
| 2 | Turbidez inicial | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 |
| | Turbidez final | 150 | 77.6 | 112 | 105 | 101 | 95 |
| | Eficiencia | 26.8 | 62.1 | 45.4 | 48.8 | 50.7 | 53.7 |
| 3 | Turbidez inicial | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 | 348 |
| | Turbidez final | 251 | 132 | 188 | 175 | 168 | 157 |
| | Eficiencia | 27.9 | 62.1 | 46.0 | 49.7 | 51.7 | 54.9 |

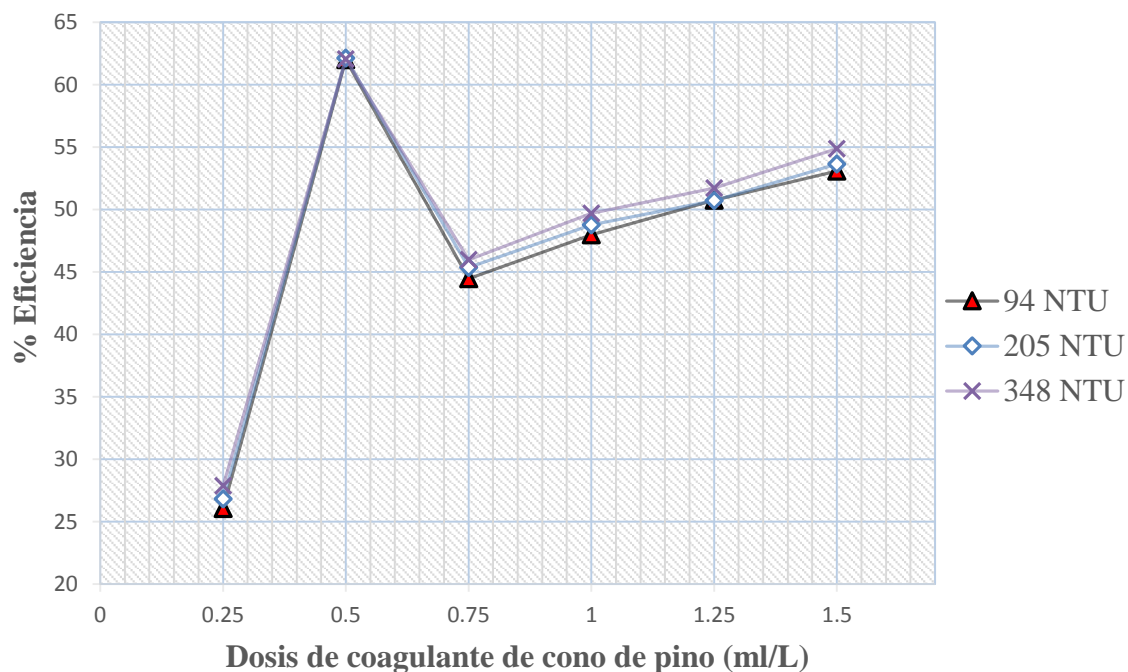
Nota: Elaboración propia.

Interpretación:

La dosis óptima de coagulante natural de cono de pino fue de la jarra N° 2 con 0.5 ml/L, debido a que alcanzó el mayor porcentaje de remoción de turbiedad del 62 %.

Figura 1

Curva del efecto de la dosis de coagulante para remover la turbiedad en la actividad de coagulación.



Nota: Elaboración propia.

Interpretación:

Para la solución coagulante natural preparada a base de cono de pino, los valores de turbidez son mostrados en la Tabla 1, en la cual se puede visualizar que para todas las dosis empleadas en las aguas con turbiedades iniciales de 94 NTU, 205 NTU Y 348 NTU se produjo una disminución similar de la misma.

Concluyendo que la menor remoción se produjo al aplicar una dosis de 0.25 ml/L para un agua de 94 NTU, lo que representa un porcentaje de remoción de 26.1 %. La mayor eficiencia de remoción se obtiene cuando se usa una dosis de coagulante de 0.5 ml/L con turbidez inicial de 94 NTU, 205 NTU Y 348 NTU.

Se observa tendencias similares de actividad de coagulación con dosis de coagulante natural de 0.75, 1, 1.25 y 1.5 ml/L como se muestra en la Gráfica 1.

4.1.2. Determinación de pH en la actividad de coagulación

Para determinar el mejor valor de pH se realizaron dos ensayos, los cuales contenían seis muestras por ensayo, teniéndose un total de 12 muestras. A continuación, se presenta los resultados obtenidos:

Tabla 2

Efecto del pH sobre la actividad de coagulación con una turbiedad inicial de 94 NTU.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Dosis (ml/L) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| pH | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 | 8.5 |
| Turbidez inicial | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 |
| Turbidez final | 34.8 | 35.3 | 35.7 | 35.2 | 34.7 | 33.5 |
| Eficiencia | 63.0 | 62.4 | 62.0 | 62.6 | 63.1 | 64.4 |

Nota: Elaboración propia.

Tabla 3

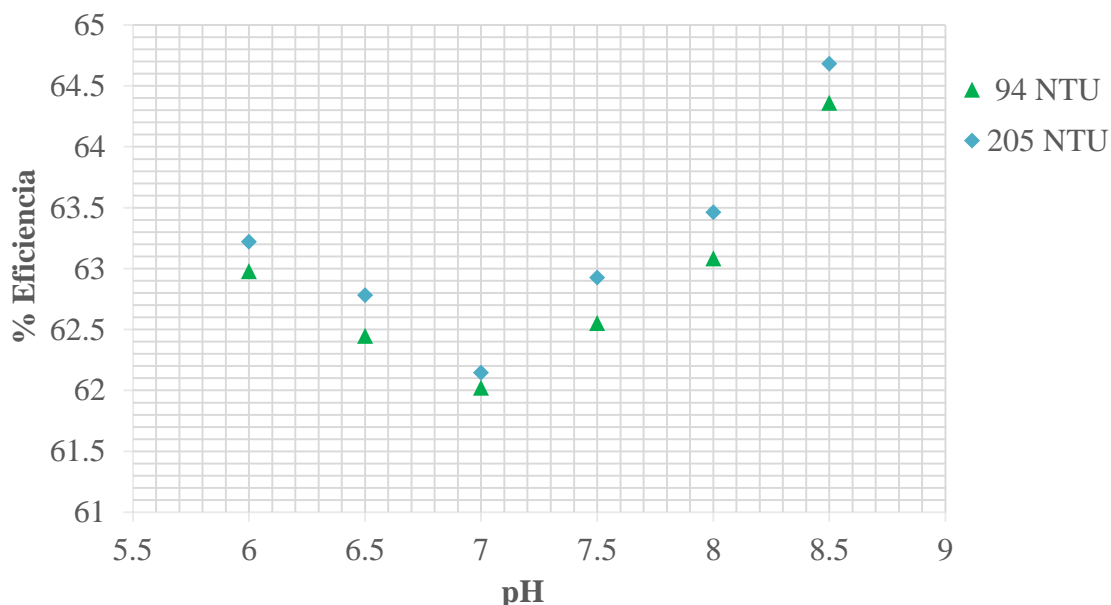
Efecto del pH sobre la actividad de coagulación con una turbiedad inicial de 205 NTU.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Dosis (ml/L) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| pH | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 | 8.5 |
| Turbidez inicial | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 |
| Turbidez final | 75.4 | 76.3 | 77.6 | 76 | 74.9 | 72.4 |
| Eficiencia | 63.2 | 62.8 | 62.1 | 62.9 | 63.5 | 64.7 |

Nota: Elaboración propia.

Figura 2

Efecto del pH sobre la actividad de coagulación con turbiedades de 94 y 205 NTU.



Nota: Elaboración propia.

Interpretación:

La actividad de coagulación está muy influenciada por el pH del agua porque los componentes activos en el extracto de coagulante a menudo llevan una carga. Para monitorear el efecto del pH, las pruebas de coagulación se realizaron a valores de pH que van de 6 a 8.5. Se ha observado que las mejores actividades de coagulación se han obtenido a valores de pH extremadamente ácidos o básicos. Por ejemplo, se ha obtenido una eficiencia de coagulación de 63 y 63.2% a un valor de pH 6 y turbidez inicial del agua de 94 y 205 NTU respectivamente. De manera similar, a un valor de pH de 8.5, 64.4 y 64.7% se han observado eficiencias de coagulación. Estos resultados indican que el coagulante natural de cono de pino está compuesto por componentes coagulantes tanto catiónicos como

aniónicos. A valores de pH más bajos, los componentes aniónicos del coagulante son responsables de la eliminación de la turbidez. De manera similar, a valores de pH más altos, los componentes de la proteína catiónica se activan. Sin embargo, se ha observado una actividad de coagulación deficiente en la zona de pH neutro, es decir, en el valor 7, como se ilustra en la Gráfica 2. Solo valores de pH más altos dan excelentes resultados en términos de actividad de coagulación. Los valores de pH del agua clarificada se ajustan agregando cantidades molares de ácido o base al final de cada prueba de coagulación.

4.1.3. Efecto del tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación.

Se realizaron dos ensayos a un pH óptimo de 7, con agua de turbidez inicial de 94 y 205 NTU, para calcular el efecto de tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación.

Tabla 4

Tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación con turbidez inicial de 94 NTU.

| Tiempo de asentamiento (h) | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 |
|---|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| Dosis (ml/L) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Turbidez inicial | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 |
| Turbidez final | 43.1 | 41.5 | 39.6 | 37 | 35.7 | 35.9 | 35.8 |
| Eficiencia | 54.1 | 55.9 | 57.9 | 60.6 | 62.0 | 61.8 | 61.9 |

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5

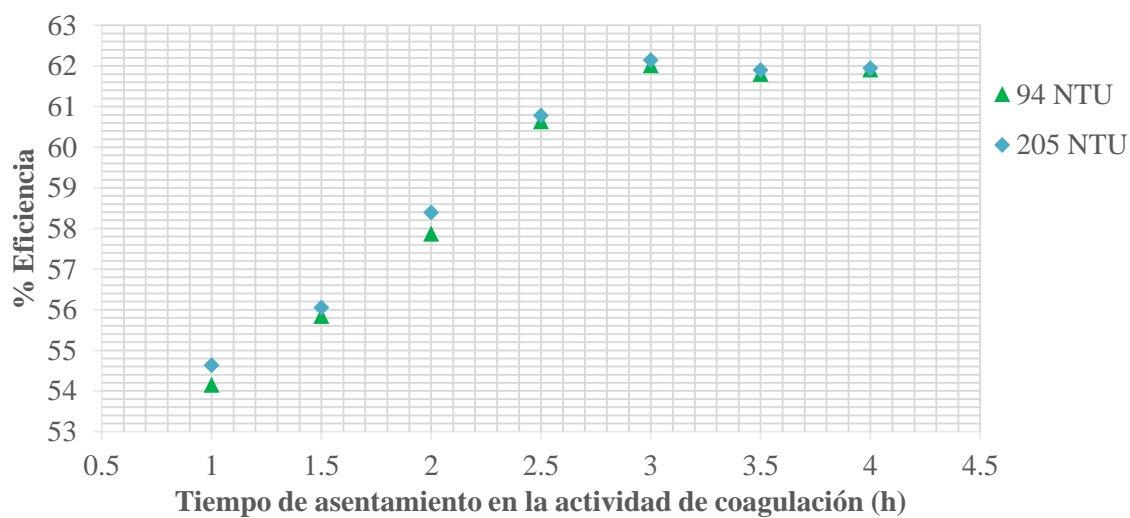
Tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación con turbidez inicial de 205 NTU.

| Tiempo de asentamiento (h) | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 |
|---|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|
| Dosis (ml/L) | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Turbidez inicial | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 |
| Turbidez final | 93 | 90.1 | 85.3 | 80.4 | 77.6 | 78.1 | 78 |
| Eficiencia | 54.6 | 56.0 | 58.4 | 60.8 | 62.1 | 61.9 | 62.0 |

Nota: Elaboración propia.

Figura 3

Efecto del tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación con turbidez inicial de 94 NTU y 205 NTU – pH 7.



Nota: Elaboración propia.

Interpretación:

El tiempo de asentamiento también tiene un efecto considerable y cuantitativo en la eficiencia de la coagulación. Para observar el efecto del tiempo de sedimentación sobre la eficiencia del tratamiento de agua, se utilizó una dosis de coagulante de 0,5 ml/L en muestras de agua con turbidez inicial de 94 y 205 NTU y se dejó que se asentaran de 1 h a 4 h. Se ha observado que a la primera hora se eliminó el 54.1 y 54.6% de turbidez.

El tiempo de asentamiento optimo es de 3 horas, logrando una eficiencia de remoción de turbidez de 62% y 62.1 % para turbiedades iniciales de 94 y 205 NTU; Sin embargo, la eficiencia de remoción disminuye respectivamente después de las 3 horas de asentamiento para ambas turbiedades iniciales como se muestra en la Gráfica 3.

4.1.4.Efecto del color.

En cuanto al color, se utilizó agua con color inicial de 40, 150 y 205 UCV (escala Pt/Co), se realizaron tres ensayos con dosificaciones de coagulante natural de cono de pino de 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 y 1.5 ml/L de solución. Los cuales luego del filtrado se obtuvieron los siguientes resultados:

Taba 6

Variación del color residual en función a la dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 40 UCV escala Pt/Co.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| Color inicial (UCV escala Pt/Co) | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Color final (UCV escala Pt/Co) | 20 | 15 | 15 | 18 | 15 | 15 |
| % Eficiencia | 50 | 62.5 | 62.5 | 55 | 62.5 | 62.5 |

Nota: Elaboración propia.

Tabla 7

Variación del color residual en función a dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 150 UCV escala Pt/Co.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| Color inicial (UCV escala Pt/Co) | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Color final (UCV escala Pt/Co) | 78 | 56 | 57 | 66 | 57 | 57 |
| % Eficiencia | 48 | 62.6 | 62 | 56 | 62 | 62 |

Nota: Elaboración propia.

Tabla 8

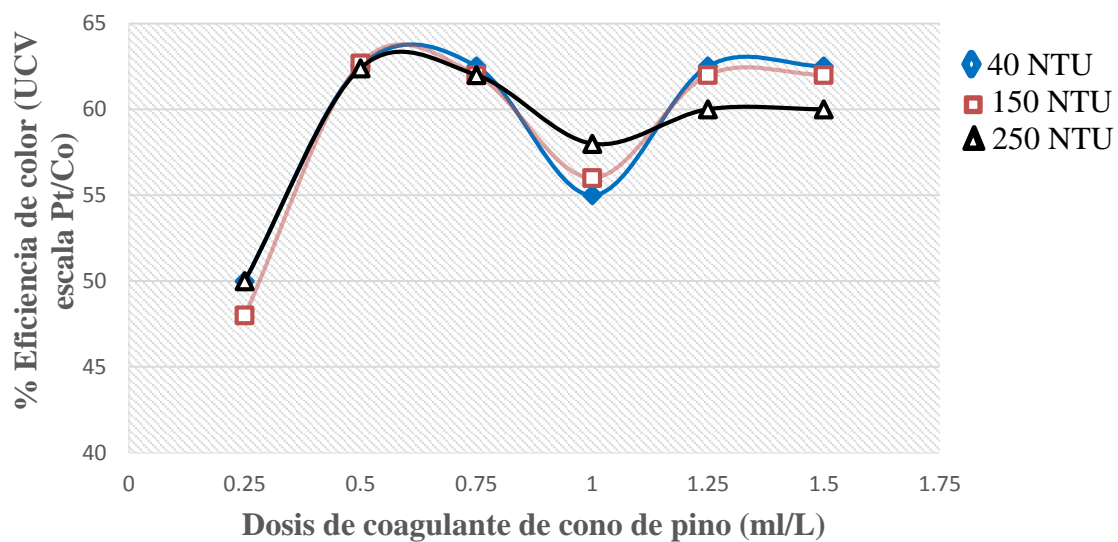
Variación del color residual en función a dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 250 UCV escala Pt/Co.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|------|------|------|-----|------|-----|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| Color inicial (UCV escala Pt/Co) | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Color final (UCV escala Pt/Co) | 125 | 94 | 95 | 105 | 100 | 100 |
| % Eficiencia | 50 | 62.4 | 62 | 58 | 60 | 60 |

Nota: Elaboración propia.

Figura 4

Remoción de color en función a dosis de solución de cono de pino con un color inicial de 40, 150 y 250 UCV escala Pt/Co.



Nota: Elaboración propia.

Interpretación:

El porcentaje de remoción de color obtenido posterior a la aplicación del coagulante natural de cono de pino y de su posterior filtrado, es de 62.5 %, utilizando una dosificación de solución de coagulante de 0.5 ml/L.

Se cumple con valores de color de acuerdo el límite máximo permisible establecido en la Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (15 UCV escala Pt/Co), para aguas de color inicial menores a 40 UCV utilizando coagulante natural de cono de pino.

4.1.5.Efecto de la alcalinidad.

Tabla 9

Efecto del coagulante natural de cono de pino sobre la alcalinidad con una concentración inicial de 32 mg/L.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|------|-----|------|----|------|-----|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Alcalinidad inicial (mg/L) | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| Alcalinidad final (mg/L) | 32 | 30 | 30 | 32 | 32 | 32 |

Nota: Elaboración propia.

Tabla 10

Efecto del coagulante natural de cono de pino sobre la alcalinidad con una concentración inicial de 35 mg/L.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Alcalinidad inicial (mg/L) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Alcalinidad final (mg/L) | 34 | 34 | 34 | 34 | 35 | 33 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

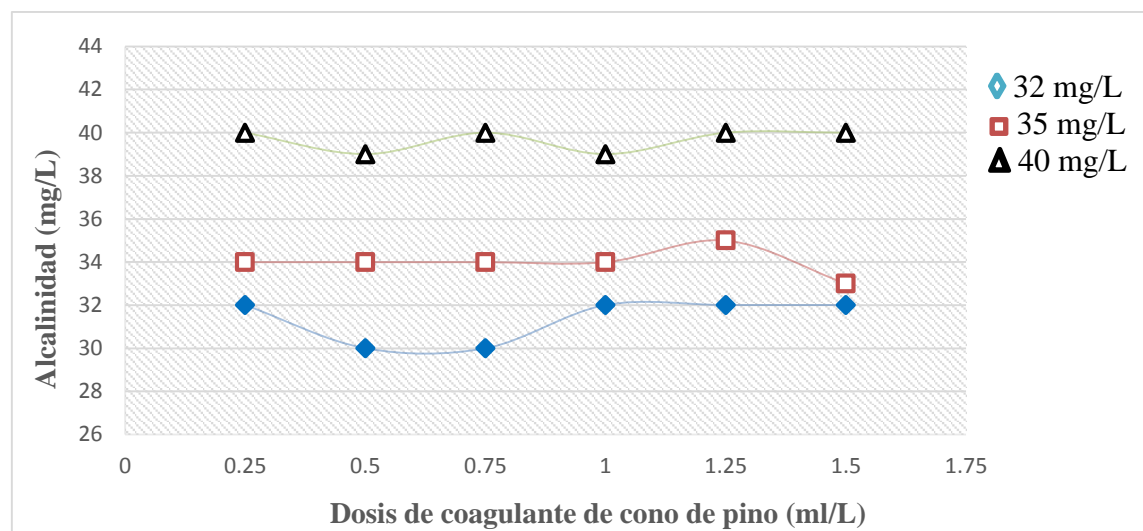
Efecto del coagulante natural de cono de pino sobre la alcalinidad con una concentración inicial de 40 mg/L.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Alcalinidad inicial (mg/L) | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Alcalinidad final (mg/L) | 40 | 39 | 40 | 39 | 40 | 40 |

Nota: Elaboración propia.

Figura 5

Variación de la alcalinidad (mg/L) producto de la dosificación de coagulante natural de cono de pino.



Nota: Elaboración propia.

Interpretación:

Después del tratamiento los valores de alcalinidad total es de ± 2 mg CaCO_3/L de su valor inicial, es decir se mantiene constante. Arboleda (2000) plantea que la alcalinidad en el agua potable actuar como una solución amortiguadora que evita el brusco descenso del pH, por lo que tendría repercusiones a nivel operativo, debido a que un pH final muy bajo puede producir que la coagulación no se realice o se realice pobremente, además de hacer al agua corrosiva. No obstante El Reglamento Peruano de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. no establece valores permisibles para este parámetro.

4.1.6. Efecto de la dureza.

Los análisis de dureza se realizaron de igual forma que la alcalinidad; se utilizó agua con valores iniciales de concentración de 30, 34 y 38 mg/L. Se realizaron tres ensayos como se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 12

Valores de dureza después del proceso de coagulación con diferentes dosificaciones de coagulante natural de cono de pino - dureza inicial de 30 mg/L.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------|------|-----|------|----|------|-----|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Dureza total inicial (mg/L) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Dureza total final (mg/L) | 30 | 28 | 28 | 29 | 30 | 30 |

Nota: Elaboración propia.

Tabla 13

Valores de dureza después del proceso de coagulación con diferente dosificaciones de coagulante natural de cono de pino - dureza inicial de 34 mg/L.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------|------|-----|------|----|------|-----|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Dureza total inicial (mg/L) | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Dureza total final (mg/L) | 34 | 32 | 32 | 34 | 34 | 34 |

Nota: Elaboración propia.

Tabla 14

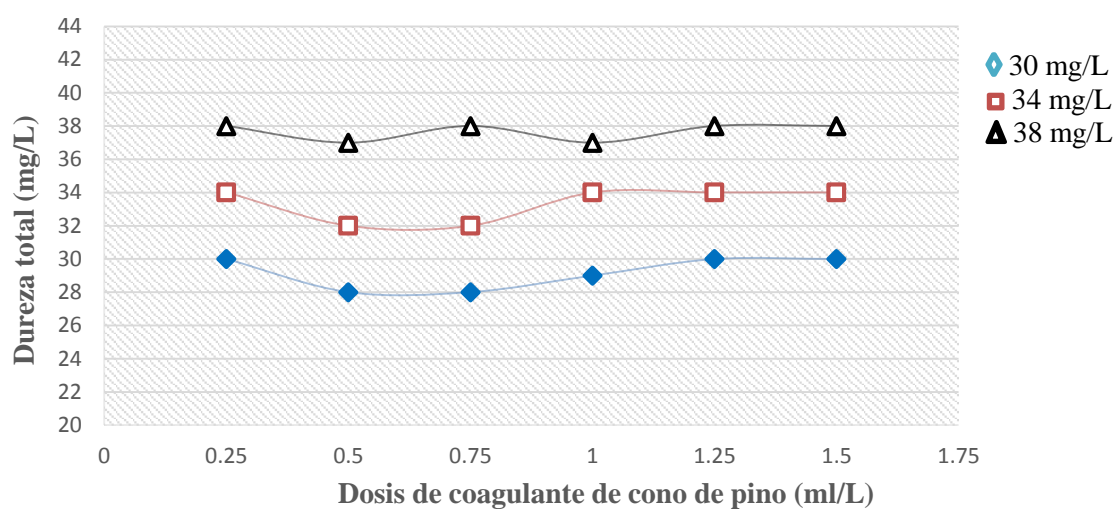
Valores de dureza después del proceso de coagulación con diferente dosificaciones de coagulante natural de cono de pino - dureza inicial de 38 mg/L.

| N° de jarras | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------|------|-----|------|----|------|-----|
| Dosis (ml/L) | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Dureza total inicial (mg/L) | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| Dureza total final (mg/L) | 38 | 37 | 38 | 37 | 38 | 38 |

Nota: Elaboración propia.

Figura 6

Efecto de dureza con diferentes dosificaciones de coagulante natural de cono de pino.



Nota: Elaboración propia.

Interpretación:

De la misma forma que la alcalinidad, el coagulante natural de cono de pino no afecta a la dureza total, como se muestra en la Gráfica 6 hay una variación de un ± 2 mg/L el cual no tiene mucha significancia.

El agua superficial del río Shilcayo normalmente posee una dureza total de 30 a 40 m/L, por lo que no supera lo establecido en la Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA. (LMP 500 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$).

4.2. Discusión

Los resultados logrados en este estudio en cuanto a la remoción de turbiedad es comparable con los análisis realizados por Sajid et al. (2019), el cual utiliza coagulante a base de cono de pino, aplicándolo en agua turbia sintética. Con el agua sintética a turbiedades iniciales de 67 y 75 NTU obtiene remociones de 55 y 62 % de turbiedad con una dosis óptima de 0.5 ml/L a un pH 10. En comparación a la presente investigación se logran remociones de turbiedad del 62 y 62.1 % utilizando el coagulante natural de cono de pino, para agua cruda superficial del río Shilcayo de 94 y 205 NTU, la dosis óptima fue de 0.5 ml/L a un pH de 7.

La contribución de este trabajo implica parámetros establecidos en la Norma de calidad de agua en las plantas potabilizadoras: pH, alcalinidad, dureza y color; Sin embargo, se precisa que en las investigaciones de Sajid et al. (2019) se utiliza agua turbia sintética mientras que en este estudio el agua que se utilizó es superficial (río Shilcayo) por lo cual se infiere que las mezclas con coagulante natural de cono de pino podrían actuar de manera diferente.

En cuanto a la remoción de color, se obtuvo una remoción de 62.5, 62.6 y 62.4 con un color inicial de 40, 150 y 250 UCV (escala Pt/Co), usando una dosificación de 0.5 ml/l de coagulante natural de cono de pino, lo cual, es superior a la obtenida por Maldonado (2018), quien emplea almidón de yuca y reporta una remoción de color de 48 %, partiendo del valor inicial tomado. De igual manera, la remoción fue mayor obtenida por Reyes & Guevara (2017), quienes en su estudio utilizaron un coagulante extraído de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* spp) modificado para el proceso de coagulación- floculación,

evidenciando remociones de color de 94% en aguas con color inicial de 280 UCV con almidón modificado al 2%.

La actividad de coagulación está muy influenciada por el pH. Para monitorear el efecto del pH, las pruebas de coagulación se realizaron a valores de pH que van de 6 a 8.5. Se ha observado que las mejores actividades de coagulación se han obtenido a valores de pH extremadamente ácidos o básicos. Por ejemplo, se ha obtenido una eficiencia de coagulación de 63 y 63.2 % a un valor de pH 6 y turbidez inicial del agua de 94 y 205 NTU respectivamente. De manera similar, a un valor de pH de 8.5, 64.4 y 64.7 % se han observado eficiencias de coagulación. Esto está de acuerdo con los hallazgos de Sajid et al. (2019), sin embargo, se ha observado una actividad de coagulación deficiente de pH neutro, es decir $\text{pH}=7$ logrando una eficiencia de 62 y 62.1 % para turbiedades iniciales de 94 y 205 NTU. En la investigación de Sajid et al. (2019) se ha obtenido una eficiencia de coagulación de 74 y 77 % a un valor de pH 2 y turbidez inicial del agua de 67 y 75 NTU y a un valor de pH de 12, 71 y 76 % se han observado eficiencias de coagulación, usaron una dosificación de 0.5 ml/L de solución de cono de pino.

V. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se evaluó la magnitud del coagulante natural de cono de pino para remover la turbidez del agua, Tarapoto – San Martín, logrando una eficiencia de 62 % a un pH=7.
- Se logró obtener el coagulante natural de cono de pino y se aplicó en aguas provenientes del río Shilcayo para remover la turbidez, en laboratorios de aseguramiento de la calidad y procesos de EMAPA San Martín S.A.
- Se estableció los niveles turbidez, pH, color, alcalinidad y dureza del agua proveniente del río Shilcayo durante el pre y post tratamiento usando cono de pino como coagulante natural, además, se concluye que los valores de pH muy ácidos o básicos pueden activar las proteínas en el coagulante para lograr la máxima actividad.
- Se determinó la dosis óptima (0.5 ml/L) de solución de coagulante natural de cono de pino, velocidad de agitación (30 rpm) y tiempo de asentamiento en la actividad de coagulación (3 horas) con turbidez inicial de 94 NTU y 205 NTU a un pH =7; mediante el proceso de clarificación, usando el equipo prueba de jarras. Por lo tanto, se deduce que, el extracto de cono de pino se puede utilizar como una fuente natural y sostenible para la purificación de agua turbia.

5.2. Recomendaciones

- Profundizar en estudios de clarificación de aguas, para hallar la manera de como poder potencializarlo y obtener una mayor eficiencia con el coagulante de cono de pino.
- Realizar un estudio económico para evaluar si la obtención del coagulante de cono de pino y al aplicarlo en el proceso de clarificación de agua es rentable en comparación con el sulfato de aluminio.
- Realizar investigaciones utilizando coagulantes naturales para precisar los beneficios económicos, sociales y ambientales del uso de los mismos en el proceso del tratamiento de agua para consumo humano.
- Se sugiere aplicar este análisis a aguas proveniente lagos, aguas subterráneas, etc. con la finalidad de evaluar su efectividad y aumentar la calidad del agua..

VI. REFERENCIAS

- Aldana, E. (2012). *Uso del extracto de la semilla de moringa oleífera como coagulante natural primario y ayudante de coagulación en el tratamiento de agua para consumo humano, Lima – Perú*, p.182.
- Andia, Y (2000). *Tratamiento de agua. Coagulación y floculación*. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. SEDAPAL. Lima. Perú.
- Arboleda J. 2000. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tomo I. Editorial McGraw-Hill. Bogotá, 1155 p.
- Carrasquero, S., Montiel, S., Faría, E., Parra, P., Marín J. & Díaz A. (2017). *Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (Sonalum tuberosum) y plátano (Musa paradisiaca) en la clarificación de agua*. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Universidad del Zulia, Venezuela.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente - CEPIS (1983). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua*. Lima.
- Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS)*, (1).
- García, J. (2009). *La Guía:Biología* Recuperado de:
<https://biologia.laguia2000.com/bioquimica/el-agua-propiedadesquimicas>
- García, M. e tal(2000). *El agua, Colombia* Recuperado de:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. Lima, pp.7-9.
- López, M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*. Universidad nacional agraria la molina, Perú.
- Maldonado, A. (2018). *Aplicación del clarificante de origen natural (almidón de yuca) para la remoción de la turbidez y color en aguas de consumo humano quebrada Juninguillo – La Mina, Moyobamba – San Martín*. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto – Perú.
- Ministerio de Salud (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA*. Dirección general de salud ambiental. Lima.

- Ndabigengesere, A., Narasiah, S., & Talbot, B. (1995) Agentes activos y mecanismo de coagulación de aguas turbias utilizando moringa oleífera. *Elvesier*. 29(2), pp.703-710.
- Núñez, E. (2017). *Manual de operaciones y mantenimiento del sistema Shilcayo*. Emapa San Martín S.A., p.2.
- Olivero, R., Florez, A., Vega, L. & Villegas, G. (2017). *Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas*. Universidad del Atlántico, Colombia.
- OMS (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Primer apéndice a la tercera edición. (1). Suiza.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F. & Alfayate, J. (2004). Contaminación Ambiental. Una visión desde la química. Madrid. España. 1ª ed. *Editorial Thomson*.
- Ramírez, H. & Jaramillo, J. (2015). *Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua*. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.
- Restrepo, H. (2009). Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Facultad de Minas.
- Reyes, B. & Guevara J. (2017). *Obtención de almidón de plátano (Musa paradisiaca spp) modificado para el proceso de coagulación- floculación Moyobamba, 2017*. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto – Perú.
- Riveros J., Cueva G. & Gonzáles H. 2017. Evaluación de la oleorresina de pino (Pinus oocarpa) en la zona de Oxapampa, Pasco, Perú. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. *Revista Forestal del Perú*, 32 (1): 45 – 55.
- Rodier, J. (1990) Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. *Ediciones Omega*, S. A., Barcelona – España.
- Romero, M. (2008). Tratamientos utilizados en la potabilización el agua. Boletín informativo no. 8, España. p.1.
- Sajid Hussain, Awais Sattar Ghouri & Ashfaq Ahmad (2019), Extracto de cono de pino como coagulante natural para la purificación de agua turbia. Pakistán. 5(3), *Heliyon*, recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844018367690>.

- Sanghi, R. et al. (2006). *Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. Journal of environmental management.* Pp.36-41.
- Tuomas, R. (2001). *Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro.* México.
- Universidad de Castilla La Mancha (2005). *Coagulación y Floculación.* Castilla.
- Vázquez, O. (1994). Extracción de coagulantes del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales, México. *Editorial Zeta-Meter.*

ANEXOS

Figura 7

Lavado del cono de pino.



Nota: Elaboración propia.

Figura 8

Cono de pino eco después del secado con luz del sol.



Nota: Elaboración propia.

Figura 9

Secado de conos de pino en horno a 80 ° C durante 24 h.



Nota: Elaboración propia.

Figura 10

Cono de pino cortado.



Nota: Elaboración propia.

Figura 11

Cono de pino molido (150 μ m).



Nota: Elaboración propia.

Figura 12

Preparación del coagulante de cono de pino a 400 rpm por 60 minutos.



Nota: Elaboración propia.

Figura 13

Filtración de solución que contiene el coagulante activo, usando filtros de 1.2 μm .



Nota: Elaboración propia.

Figura 14

Solución de coagulante activo de cono de pino.



Nota: Elaboración propia.

Figura 15

Prueba de jarras.



Nota: Elaboración propia.

Figura 16

Determinación de dureza por el método de titulación.



Nota: Elaboración propia.