

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DISMINUCIÓN DE SÓLIDOS
SUSPENDIDOS UTILIZANDO *Opuntia ficus-indica* Y CLORURO FÉRRICO
EN LAS AGUAS DEL RÍO LURÍN”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el título profesional de
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER
MANRIQUE TITO, JUAN ANDERSON

Villa El Salvador
2019

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis padres por haberme apoyado durante estos 5 años de forma incondicional, quienes a pesar de todo siempre dieron lo mejor de sí. A mi enamorada quien fue la motivación y fuerza para realizar dicha investigación, gracias por enseñarme a no rendirme ante los obstáculos

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a la profesora Carmen Ruiz Huamán por su asesoramiento, paciencia y dedicación. A mi madre Susana Tito del Castillo por haberme apoyado en la realización de esta investigación, asimismo agradecer a la técnica Jenny del laboratorio de química por su paciencia y tiempo, a todas las personas, amigos que de una u otra manera apoyaron para que esta investigación se lleve a cabo, muchas gracias a todos ustedes.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática..... | 2 |
| 1.2. Justificación del problema..... | 2 |
| 1.3. Delimitación del proyecto..... | 3 |
| 1.3.1. Teórica..... | 3 |
| 1.3.2. Temporal..... | 3 |
| 1.3.3. Espacial..... | 3 |
| 1.4. Formulación del problema..... | 3 |
| 1.4.1. Problema General..... | 3 |
| 1.4.2. Problemas Específicos..... | 3 |
| 1.5. Objetivos..... | 4 |
| 1.5.1. Objetivo General..... | 4 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos..... | 4 |
| 1.6. Matriz de consistencia..... | 5 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1. Antecedentes..... | 6 |
| 2.2. Bases Teóricas..... | 16 |
| 2.2.1. <i>Opuntia ficus-indica</i> | 16 |
| 2.2.2. Cloruro Férrico..... | 18 |
| 2.2.3. Río Lurín..... | 21 |
| 2.2.4. Sólidos en agua cruda..... | 21 |
| 2.2.5. Coagulación..... | 22 |
| 2.2.6. Floculación..... | 24 |
| 2.2.7. Prueba de jarras..... | 25 |
| 2.3. Definición de términos básicos..... | 26 |
| 2.3.1. Agua cruda..... | 26 |
| 2.3.2. Coagulante..... | 26 |
| 2.3.3. Turbiedad..... | 26 |
| 2.3.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)..... | 27 |
| 2.3.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)..... | 27 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL | 28 |
| 3.1. Modelo de solución propuesto | 28 |
| 3.1.1. Diseño de investigación..... | 28 |
| 3.1.2. Fases de la investigación | 28 |
| 3.1.2.1. Preparación del Coagulante Natural | 28 |
| 3.1.2.2. Toma de muestra..... | 32 |
| 3.1.2.3. Preparación de dosis coagulante natural | 33 |
| 3.1.2.4. Preparación de dosis coagulante artificial..... | 34 |
| 3.1.2.5. Aplicación de test de jarras..... | 36 |
| 3.2. Resultados..... | 39 |
| 3.2.1. Parámetros obtenidos antes del tratamiento | 39 |
| 3.2.2. Prueba de las dosis de coagulante <i>Opuntia ficus</i> y Cloruro Férrico | 40 |
| CONCLUSIONES..... | 52 |
| RECOMENDACIONES..... | 53 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 55 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Pencas de <i>Opuntia ficus-indica</i> | 17 |
| Figura 2. Pencas de San Diego de Ishua..... | 29 |
| <i>Figura 3.</i> Limpieza de pencas..... | 29 |
| <i>Figura 4.</i> Pesado de pencas..... | 29 |
| Figura 5. Remoción de cutícula..... | 30 |
| Figura 6. Pulpa trozada..... | 30 |
| Figura 7. Pulpa antes del proceso de secado..... | 30 |
| Figura 8. Tiras de penca deshidratadas..... | 31 |
| Figura 9. Molienda de tiras de penca..... | 31 |
| Figura 10. Extracción de pigmento..... | 31 |
| Figura 11. Pesado de polvo de penca..... | 32 |
| Figura 12. Ubicación de punto de muestreo..... | 33 |
| Figura 13. Muestreo de agua superficial..... | 33 |
| Figura 14. Monitoreo de pH y temperatura..... | 33 |
| Figura 15. Pesado de polvo de tuna..... | 34 |
| Figura 16. Solución madre de penca..... | 34 |
| Figura 17. Dosis de coagulante natural..... | 34 |
| Figura 18. Pesado de Cloruro Férrico..... | 35 |
| Figura 19. Solución madre de Cloruro Férrico..... | 35 |
| Figura 20. Dosis de coagulante artificial..... | 35 |
| Figura 21. Tratamiento 1 de <i>Opuntia Ficus</i> y Cloruro Férrico a tres dosis..... | 37 |
| Figura 22. Tratamiento 2 de <i>Opuntia Ficus</i> y Cloruro Férrico a tres dosis..... | 37 |
| Figura 23. Tratamiento 3 de <i>Opuntia Ficus</i> y Cloruro Férrico a tres dosis..... | 38 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Matriz de Consistencia | 5 |
| Tabla 2: Análisis fitoquímico de la Opuntia ficus-indica (tuna) | 18 |
| Tabla 3: Programación de equipo de jarras | 36 |
| Tabla 4: Tratamiento de coagulante natural y artificial | 37 |
| Tabla 5: Parámetros iniciales de muestra de río Lurín | 39 |
| Tabla 6: Resultados del monitoreo de calidad de agua en la cuenca de río Lurín | 39 |
| Tabla 7: Parámetros después del tratamiento pH y turbidez..... | 40 |
| Tabla 8: Tratamiento con promedio de dosis, turbidez inicial, turbidez final y porcentaje de remoción | 43 |
| Tabla 9: Parámetros después del tratamiento DQO..... | 44 |
| Tabla 10: Tratamiento con promedio de dosis, DQO inicial, DQO final y porcentaje de remoción..... | 47 |
| Tabla 11: Parámetros después del tratamiento DBO5 | 48 |
| Tabla 12: Tratamiento con promedio de dosis, DBO5 inicial, DBO5 final y porcentaje de remoción..... | 51 |

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua y su disponibilidad es actualmente una preocupación en todo el mundo, ya que es un elemento vital para el ser humano y su desarrollo. Existen diferentes tipos de contaminación de agua superficial, que generan un grave impacto en la población. Por tal motivo, se desarrollan mecanismos para el tratamiento de estas, entre los más conocidos tenemos al proceso de coagulación y floculación en donde se adicionan coagulantes artificiales para acelerar la decantación de sólidos suspendidos. Durante este proceso el agua superficial puede contaminarse debido al coagulante que se utilice, siendo los más usados el sulfato de aluminio y el cloruro férrico los cuales generan lodos residuales (contaminantes) en las plantas de tratamiento, es por ello que el presente trabajo de investigación ha comparado la reducción de sólidos suspendidos de agua superficial del río Lurín utilizando un coagulante artificial (Cloruro Férrico) y natural (*Opuntia ficus-indica*), con el objetivo de demostrar una mayor capacidad de reducción limpia por parte del coagulante natural. En cuanto a los resultados con respecto a la reducción de la turbidez se obtuvo un porcentaje de remoción de 74.14 % correspondiente al coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con una dosis de 60 mg/L, logrando reducir la turbidez inicial de 100 NTU a 25.85 NTU, mientras que para el Cloruro Férrico se obtuvo un porcentaje de remoción de 73.73% con una dosis de 60 mg/L logrando una turbidez final de 26.26 NTU. Asimismo se obtuvo un porcentaje de remoción con respecto a la reducción de la DQO de 75.69% correspondiente al coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con una dosis de 60 mg/L, logrando reducir la DQO inicial de 48 mg/L a 11.66 mg/L, mientras que para el Cloruro Férrico se obtuvo un porcentaje de remoción de 72.91% con una dosis de 50 mg/L logrando una DQO final de 13 mg/L. Finalmente se obtuvo un porcentaje de remoción con respecto a la reducción de la DBO₅ de 36.8% correspondiente al coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con una dosis de 40 mg/L, logrando reducir la DBO₅ inicial de 1.08 mg/L a 0.68 mg/L, mientras que para el Cloruro Férrico se obtuvo un porcentaje de remoción de 21% con una dosis de 40 y 50 mg/L logrando una DBO₅ final de 0.85 mg/L. La *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de remoción de la turbidez, DQO y de la DBO₅ a comparación del Cloruro Férrico, es por ello que este coagulante natural puede ser utilizado para el tratamiento de aguas superficiales contaminadas, como es el caso del río Lurín

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Las aguas del río Lurín están siendo afectadas en su calidad y propiedades, debido a la contaminación constante que se da en el lugar, la cual es generada por vertimientos indiscriminados de origen doméstico e industrial.

Es por ello que la dirección general de salud (DIGESA) estableció que la zona es no saludable debido a que se evidenció dos kilómetros de coliformes fecales en el lugar. (Igreña, 2012, p.1). Cabe indicar que existe también la presencia de sólidos suspendidos los que generan que haya una menor concentración de oxígeno presente en el agua, siendo esta utilizada para el riego de cultivos y consumida por los animales del lugar, lo que genera una gran problemática no solo para el medio ambiente sino también para los pobladores.

Durante el tratamiento de estas aguas (floculación y coagulación) se utilizan coagulantes de origen artificial, que al ser utilizados en grandes cantidades pueden ser perjudiciales para la salud, es por ello la importancia de poder encontrar un coagulante alternativo que sea beneficioso durante el proceso y que no sea un riesgo para las pobladores del lugar.

1.2. Justificación del problema

Actualmente para el tratamiento de agua superficial se viene utilizando coagulantes artificiales como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, cloruro férrico entre otros. Los cuales pueden generar dificultades durante el proceso de purificación del agua y después de esta, es por ello que la presente investigación comparará la utilización del coagulante artificial Cloruro Férrico y la del coagulante natural *opuntia ficus-indica* en la reducción de sólidos suspendidos que permitan mejorar las propiedades del agua a tratar.

1.3. Delimitación del proyecto

1.3.1. Teórica

La investigación comprende dos variables: Comparación de la *Opuntia ficus-indica* frente al Cloruro Férrico (independiente) y Disminución de la turbidez, DBO₅ y DQO (Dependiente)

1.3.2. Temporal

El período que comprende la investigación, corresponde al período 2019

1.3.3. Espacial

Esta investigación está comprendida dentro del departamento de Lima, provincia de Lima, distrito de Lurín en el AA.HH San Antonio, ubicado en la ribera del río

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema General

¿Los coagulantes *Opuntia ficus-indica* y Cloruro Férrico disminuyen el contenido de turbidez, DBO₅ y DQO en las aguas del río Lurín?

1.4.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál de los dos tratamientos (*Opuntia ficus-indica* y Cloruro Férrico) disminuyen el contenido de turbidez, DBO₅ y DQO en las aguas del río Lurín?
- ¿Cuál de las tres dosis (40, 50 y 60 mg/L) aplicadas disminuyen el contenido de turbidez, DBO₅ y DQO en las aguas del río Lurín?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar si los coagulantes *Opuntia ficus-indica* y Cloruro Férrico disminuyen el contenido de turbidez, DBO₅ y DQO en las aguas del río Lurín

1.5.2. Objetivos Específicos

- Comparar cuál de los dos tratamientos (*Opuntia ficus-indica* y Cloruro Férrico) disminuyen el contenido de turbidez, DBO₅ y DQO en las aguas del río Lurín
- Determinar cuál de las tres dosis (40, 50 y 60 mg/L) aplicadas disminuyen el contenido de turbidez , DBO₅ y DQO en las aguas del río Lurín

1.6 Matriz de consistencia

Tabla 1: *Matriz de Consistencia*

| Problemas | Objetivos | Variables | Dimensiones | Indicadores | Unidades |
|--|---|---|--|---|-------------------------|
| General | General | Independiente | | | |
| ¿Los coagulantes <i>Opuntia ficus-indica</i> y Cloruro Férrico disminuyen el contenido de turbidez, DBO ₅ y DQO en las aguas del río Lurín? | Determinar si los coagulantes <i>Opuntia ficus-indica</i> y Cloruro Férrico disminuyen el contenido de turbidez, DBO ₅ y DQO en las aguas del río Lurín | Comparación de la <i>Opuntia ficus-indica</i> frente al Cloruro Férrico | <p>Especie vegetal y el coagulante convencional</p> <p>Velocidad y tiempo de agitación</p> | <p>Dosis de <i>Opuntia ficus-indica</i> y Cloruro Férrico</p> <p>Tiempo de agitación rápida y lenta</p> | <p>mg/L</p> <p>RPM</p> |
| Específicos | Específicos | Dependiente | | | |
| ¿Cuál de los dos tratamientos (<i>Opuntia ficus-indica</i> y Cloruro Férrico) disminuyen el contenido de turbidez, DBO ₅ y DQO en las aguas del río Lurín? | Comparar cuál de los dos tratamientos (<i>Opuntia ficus-indica</i> y Cloruro Férrico) disminuyen el contenido de turbidez, DBO ₅ y DQO en las aguas del río Lurín | Disminución de la turbidez, DBO ₅ y DQO | Físico | <p>Turbidez</p> <p>pH</p> | <p>NTU</p> |
| ¿Cuál de las tres dosis (40, 50 y 60 mg/L) aplicadas disminuyen el contenido de turbidez, DBO ₅ y DQO en las aguas del río Lurín? | Determinar cuál de las tres dosis (40, 50 y 60 mg/L) aplicadas disminuyen el contenido de turbidez, DBO ₅ y DQO en las aguas del río Lurín | | Química | <p>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)</p> <p>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</p> | <p>mg/L</p> <p>mg/L</p> |

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- ❖ El trabajo que aporta significativamente a esta investigación es el realizado por Malena López Pérez, (2018), titulado: “Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas”, (tesis para optar el grado académico de ingeniera ambiental) Universidad Nacional Agraria la Molina. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
 - En esta investigación se determinaron los parámetros óptimos del coagulante natural en polvo obtenido del cactus *Opuntia ficus-indica*, al ser aplicado en muestras de agua de 20, 50, 100, 300 y 500 UNT; asimismo, se comprobó la eficiencia del coagulante al remover la turbidez de dichas muestras; por último, se evaluaron los parámetros físico-químicos finales de las muestras de agua (turbidez, color, pH y conductividad), al utilizar el coagulante natural y el coagulante químico sulfato de aluminio, a fin de verificar y comparar el efecto de cada coagulante en la variación de dichos parámetros.
 - Las dosis óptimas del coagulante natural estuvieron en el rango de 30 y 90 mg/L, con lo cual, se evidencia que no se necesitan grandes cantidades del coagulante en polvo para el tratamiento del agua, ya que las dosis aplicadas no superaron los 100 mg de coagulante en un litro de agua tratada.
 - La concentración óptima del coagulante natural estuvo en el rango de 0.5% y 2%; al respecto, se advirtió que la concentración óptima del coagulante natural disminuyó a medida que el nivel de turbidez se incrementaba; es así que, para muestras de turbidez baja (20-50 UNT) la concentración óptima fue del 2%; para las muestras de

turbiedad media-alta (100-300 UNT) fue del 1%; y para muestras de 500 UNT fue de 0.5%.

- El pH óptimo del coagulante natural en todas las muestras de agua fue 9, con lo cual, se comprobó que el pH es un factor que influye en el proceso de coagulación, ya que al aplicar el coagulante natural en las muestras de pH 9 se obtuvo mejores resultados en la remoción de turbiedad, seguidamente en las muestras de pH 7; y su eficiencia disminuyó al tratar muestras de pH 5.
- La eficiencia del coagulante natural hecho a base del cactus *Opuntia ficus-indica*, para remover la turbidez presente en muestras de agua de 20 a 500 UNT, fue menor a la del coagulante químico sulfato de aluminio, ya que este alcanzó porcentajes de remoción superiores al 94%; no obstante, la eficiencia del coagulante natural en la clarificación del agua mejoró considerablemente en niveles altos de turbidez, removiendo desde 58% de turbidez en muestras de 20 UNT hasta el 86 % de turbidez en muestras de agua de 500 UNT; esto se puede explicar porque las especies del género *Opuntia spp.* actúan por el mecanismo de adsorción y formación de puente
- Se comprobó que el coagulante natural hecho a base del cactus *Opuntia ficus-indica* no altera significativamente las condiciones iniciales de los parámetros fisicoquímicos de pH y conductividad, en muestras de agua de 20 a 500 UNT; sin embargo, al emplear el coagulante químico sulfato de aluminio se observó un incremento considerable en los valores de conductividad y disminución del pH, con lo cual, se deduce la presencia de aluminio residual en las muestras.
- De acuerdo a los resultados de remoción de turbidez obtenidos al aplicar el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* se puede afirmar que este es efectivo para ser aplicado en muestras de turbiedad bajas, medias y altas, mejorando su eficiencia en muestras de alta

turbidez; asimismo, se comprobó que no genera variaciones significativas en la conductividad y pH de las muestras, lo cual puede representar una ventaja al no necesitar modificadores de pH. Por lo expuesto, este coagulante natural puede considerarse como una alternativa para aplicar en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas. (p.85)

- ❖ El trabajo que aporta significativamente a esta investigación es el realizado por Lorena Lizeth Lozano Florián, (2018), titulado: “Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de *Opuntia ficus-indica* (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018”, (tesis para optar el grado académico de ingeniero ambiental y prevención de riesgos) Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
 - El proceso de obtención del coagulante-floculante de *Opuntia ficus-indica* (tuna) impacta en su efectividad para disminuir la turbidez del agua, debido al cambio en las características físicas. Siendo el más efectivo el proceso de escurrimiento.
 - Las características químicas de los productos no determinan la efectividad como floculante o coagulante para el caso de los productos obtenidos de la *Opuntia ficus-indica* (tuna); lo que si interfiere son las características físicas como es la densidad.
 - Usando una velocidad de 40 rpm y una dosis de 0.50 mL como velocidad de agitación los flóculos generados se esparcieron en un área más grande, propiciando el contacto de estos con un número mayor de partículas coloidales, por tanto, este régimen de agitación favoreció la clarificación del agua.

- El floculante-coagulante natural del proceso de escurrimiento fue más eficiente en la disminución de la turbidez a comparación de los procesos de licuado y extracción.(p.61)

- ❖ El trabajo realizado por Verónica Milagros Godoy Briones, (2018), titulado: “Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de Tuna”, (tesis para optar el grado académico de ingeniero civil) Universidad Privada del Norte. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
 - Haciendo uso del floculante natural (paleta de tuna) la turbidez disminuye hasta 3.34 NTU con una dosificación de 10 mg/600ml y una velocidad de revoluciones por minuto de 50 RPM, concluyendo finalmente que la paleta de tuna es un mejor floculante dando mejores resultados.

 - Al comparar la calidad de agua utilizando la paleta de tuna como floculante y un floculante artificial (ECOPOLCS 600), obtuvimos que ambos nos dan resultados óptimos, pero la paleta de tuna por ser de estado natural es más recomendable que el ECOPOL CS 600; además, la paleta de tuna nos brinda mejores resultados en la disminución de la turbidez.

 - La apariencia física del agua después del proceso de floculación cumple con las características básicas del agua siendo incolora, inodora e insípida, además que el color oscuro por la turbidez disminuye obteniendo el agua más clara y sin impurezas.

 - Al evaluar el pH del agua en solución obtenemos que es de carácter Neutro ya que en su mayoría obtenemos un pH =7, lo que permite que la desinfección con cloro sea eficaz. (p.65)

- ❖ El trabajo realizado por Sonia Milagros Jara Vásquez, (2018), titulado: “Uso del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo “*Tamarindus indica L.*” para reducir sólidos coloidales en laboratorio de las aguas del río Lurín, Lima - 2018”, (tesis para optar el grado académico de ingeniera ambiental) Universidad César Vallejo. Llegó a las siguientes conclusiones:
 - Los parámetros físicos y químicos de las aguas provenientes del río Lurín analizado en el laboratorio de la universidad Cesar Vallejo Lima Norte presentaron valores de 90.5 NTU en turbidez, 91.88 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO) y 33.82 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
 - La dosis óptima del coagulante extraído de la semilla de tamarindo; realizadas con la prueba de jarras fue de 100 mg/L, la cual se obtuvo mejores resultados en cuanto a un mejor nivel de reducción de turbidez en un 89.3%
 - Se puede concluir que la utilización del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo es efectiva para reducir sólidos coloidales, ya que se puede comprobar en laboratorio con distintas concentraciones que se logra reducir turbidez y DQO. (p.44)

- ❖ El trabajo que aporta a esta investigación es el realizado por Rocío Lizeth Gabino Curiñahui, (2018), titulado: “*Opuntia ficus-indica* como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en la avícola la chacra”, (tesis para optar el grado académico de ingeniera ambiental) Universidad Continental. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
 - La aplicación de la *Opuntia ficus-indica* a la muestra influyó en reducir los sólidos suspendidos totales en el efluente de la avícola “La Chacra”, asimismo generó disminuciones favorables en los

parámetros de DBO₅, DQO y en especial para turbidez, siendo esta última también significativa, lo que permite que se reduzca los niveles de contaminación en el agua.

- El nivel de contaminación por sólidos suspendidos totales sobrepasó los valores máximos admisibles correspondiente, al igual que para los parámetros de turbidez, DBO₅ y DQO.
 - Durante la prueba de eficiencia se logró demostrar la diferencia en la reducción del promedio de los sólidos suspendidos totales en la muestra tratada de un 65% con la cual concluimos que la aplicación de la *Opuntia ficus-indica* como coagulantes es muy eficiente.
 - Del mismo modo en la investigación efectuada en la fase preliminar se obtuvo que la dosis optima del coagulante natural *Opuntia ficus-indica* es 50 ml/L para este tipo de agua residual, cuya dosis al ser aplicada en el tipo de agua residual estudiada en la investigación influyo en la remoción de los sólidos suspendidos totales. (p.84)
- ❖ El trabajo que aporta significativamente a esta investigación es el realizado por Vico Torres Contreras, (2017), titulado: “Análisis del coagulante natural *opuntia ficus* con fines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca, Apurímac, 2016”, (tesis para optar el grado académico de ingeniera civil) Universidad César Vallejo. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
- La manera más adecuada para la obtención del coagulante natural de la penca de la tuna (*opuntia ficus*) es la baba de nopal que se extrae haciendo reposar trozos de penca de tuna en agua caliente. Método empírico que no genera gasto e incremento de costos para tratar el agua.
 - La efectividad del *opuntia ficus* es como ayudante de coagulación de las siguientes formas para un agua cruda de 84NTU y 41UC su

dosis optima es de 20mg/L de sulfato de aluminio tipo A y 5 mg/L de *opuntia ficus* obteniendo un valor de turbidez 8 NTU y 14 UC de color muy cercano a los parámetros mínimos permisibles según el reglamento de calidad de agua para consumo humano, con nivel de pH aceptable.

- La efectividad del *opuntia ficus* es como ayudante de coagulación para un agua cruda de 41.5NTU y 22UC su dosis optima es de 5mg/l de sulfato de aluminio tipo A y 3 mg/l de *opuntia ficus* obteniendo un valor de turbidez 9.07 NTU y 15 UC de color muy cercano a los parámetros mínimos permisibles según el reglamento de calidad de agua para consumo humano, con nivel de PH aceptable. En este nivel de turbidez el costo de tratar el agua es bien bajo ya que es minino la utilización de sulfato de aluminio tipo A.

 - La utilización del coagulante natural de la penca de tuna (*opuntia ficus*) surge como alternativa de solución sostenible, para el aprovechamiento de un recurso natural con el cual contamos y así disminuir los casos de enfermedades producidas por mala calidad de agua. (p.90)
- ❖ El trabajo realizado por Kriss Estefany Razuri Malqui, (2017), titulado: “Disminución del contenido de la DBO y la DQO mediante coagulantes naturales (*Aloe Vera L.* y *Opuntia ficus indica*) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres”, (tesis para optar el grado académico de ingeniera ambiental) Universidad César Vallejo. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
- Los resultados obtenidos demostraron que los coagulantes naturales (*Aloe Vera L.* y *Opuntia ficus indica*) disminuyen el contenido de la DBO5 y DQO, puesto que estadísticamente con un $P_valor = 0,000$ se rechaza H_0 , entonces se afirma que el promedio de todos los tratamientos ($T_1 = Aloe Vera L.$, $T_2 = Opuntia ficus indica$,

T3=Aloe Vera L.+ *Opuntia ficus indica*) y dosis (D1=600 mg/l, D2=700 mg/l, D3=800 mg/l) es menor en comparación con los valores iniciales de la DBO5= 65.4 y DQO= 833.04

- Con un P_valor= 0.364 y 0.416 estadísticamente se afirma que los tres modelos de tratamientos aplicados para disminuir el contenido de la DBO y la DQO se encuentran en un mismo nivel, por lo que los tres tratamientos disminuyen igualmente.
 - Con un P_valor = 0.000 se asegura que las tres dosis aplicadas para disminuir el contenido de la DBO y la DQO en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta estadísticamente si muestran diferencias significativas, por lo que se concluye que todas las dosis disminuyen pero al menos una de ellas es mejor para la disminución.
 - De los resultados obtenidos se demostró que la mejor combinación es el tratamiento 3 (Aloe Vera L. + *Opuntia ficus indica*) con la dosis 3 (800 mg/l), logrando una eficiencia del 80.64% ($\mu=12.63$ mg/l) y 90.11% ($\mu=82.35$ mg/l) en la disminución del contenido de la DBO5 y la DQO respectivamente.
 - Se demostró que en los tratamientos (T1=Aloe Vera L., T2=*Opuntia ficus indica* y T3=Aloe Vera L.+ *Opuntia ficus indica*), la concentración de las dosis (D1=600 mg/l, D2=700 mg/l, D3=800 mg/l) influye directamente en la disminución de contenido de la DBO y DQO, es decir la disminución es directamente proporcional a la concentración de la dosis del coagulante natural aplicada. (p.79)
- ❖ El trabajo realizado por Karina Urquía Collantes, (2017), titulado: “Eficiencia de la *Opuntia Ficus-Indica* frente a la *Moringa Oleífera*, en el tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SJL-2017”, (tesis para optar el grado académico de ingeniera ambiental) Universidad César Vallejo. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

- Comparando la eficiencia del poder coagulante de la *Moringa Oleífera* frente a la *Opuntia Ficus Indica*, concluyó que en términos de turbidez, SST y pH, las semillas de *Moringa Oleífera* mostraron gran eficiencia llegando a reducir la turbidez de 560 NTU a 6,21NTU, con dosis de 0.75 g/L, así mismo con respecto a SST alcanzo una reducción de 303 a 30.33 g/L con una dosis de 0.5 g/L, el pH se mantuvo constante cerca de 7,5. La mejor remoción de DQO se obtuvo con el coagulante de moringa 16 995 g/L con respecto al DQO inicial. La mejor remoción de DBO se obtuvo con la Opuntia 24,7 g/L. sin embargo la Moringa también muestra resultados cercanos con las dos dosis 26,6 g/L y 29,6 g/L.
 - Las características de la *Opuntia Ficus Indica* reducen eficientemente la turbidez de aguas del Río Huaycoloro, logrando reducir la turbidez a 14.88 NTU con la dosis de 0.5 g/L y 14,68 NTU con una dosis de 0.75 g/L.(p.44)
- ❖ El trabajo que aporta significativamente a esta investigación es el realizado por Christina Elizabeth Montoya Arias y Kimberly Alexandra Silencio Acuña, (2017), titulado: “Evaluación de pH, concentración de FeSO₄ y FeCl₃, en la remoción de sólidos suspendidos y sulfuros en efluentes de pelambre en curtiembres”, (tesis para optar el grado académico de ingeniero químico) Universidad Nacional de Trujillo. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
- La evaluación de pH y la concentración de FeSO₄ y FeCl₃ influyen directamente en la remoción de sólidos suspendidos y sulfuros en efluentes de la etapa de rivera en el proceso de pelambre (licor de pelambre) de la curtiembre Ecológica del Norte S.A
 - Las mejores condiciones de trabajo en la remoción de sólidos suspendidos y sulfuros son a pH 9.00 utilizando como coagulantes al cloruro férrico y sulfato ferroso de manera individual; en

concentraciones de $\text{FeCl}_3 = 7000 \text{ mg/L}$ y $\text{FeSO}_4 = 12000 \text{ mg/L}$, con una concentración de floculante de aniónico de 50 mg/L

- Los mayores porcentajes de remoción de sólidos suspendidos y sulfuros se obtuvo bajo las siguientes condiciones de trabajo en la combinación del coagulante y floculante:
 - i. A pH igual a 9.00, $\text{FeCl}_3 = 7000 \text{ mg/L}$ y floculante aniónico= 50 mg/L se logra una remoción de turbidez del 82.2%, sólidos totales del 75.63%, sólidos suspendidos del 95.46%, demanda química de oxígeno del 98.41% y sulfuros del 99.89%
 - ii. A pH igual a 9.00, $\text{FeSO}_4 = 12000 \text{ mg/L}$ y floculante aniónico= 50 mg/L se logra una remoción de turbidez del 96.76%, sólidos totales del 36.22%, sólidos suspendidos del 88.43%, demanda química de oxígeno del 94.16% y sulfuros del 99.64% (p.75)

- ❖ El trabajo que aporta significativamente a esta investigación es el realizado por Bayro Javier Morejón Díaz, (2017), titulado: "Utilización del mucilago de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi", (tesis para optar el grado académico de magíster en gestión sustentable de recursos naturales) Universidad Técnica del Norte. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:
 - El extracto natural se obtuvo de cladodios jóvenes (1 año) de la *Opuntia ficus-indica*, después de un macerado de 12 horas en recipientes con agua potable; sustancia que presentó propiedades como coagulante-floculante habiéndose demostrado en esta investigación la capacidad de capturar y sedimentar partículas en

suspensión presentes en el agua cruda, debido a su alta viscosidad del complejo coloidal formado.

- Se concluye que con la relación volumétrica 25% mucílago de tuna– 75% agua a tratar se llega a los parámetros establecidos según la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1108, 2011), teniendo: pH (6,93 pH), turbidez (5,89 UNT), dureza (63,52 mg/L), color (15,50 UTC unidades de color Pt-Co), y para sólidos disueltos totales (85mg/L).
- El costo del tratamiento de agua para consumo humano de la comunidad Pusir Grande con el Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), es de \$503,69/mes y de \$0,84/m comparación con el mucílago de tuna, se redujo a \$196,52/mes y \$0,33/m, situación que evidencia una ventaja comparativa del procedimiento propuesto con las técnicas tradicionales y que puede considerarse como alternativa viable en el servicio de abastecimiento de agua potable de la comunidad de Pusir Grande, mediante el aprovechamiento sustentable de este recurso natural. (p.72)

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. *Opuntia ficus-indica*

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) es de gran importancia en los sistemas agropastoriles de los andes peruanos. Esta cactácea se encuentra ampliamente distribuida en el país, especialmente en los valles interandinos donde ha encontrado condiciones adecuadas para su establecimiento. (Amaya, 2009, p.5)

El elemento característico de las distintas opuntias es el cladodio, un segmento espinoso, de apariencia ovalada, a modo de hoja muy

carnosa, con capacidad por si solos de reproducir la estructura completa del cactus, produciendo nuevos cladodios o ramas y también flores y frutos. (Medizzine, 2010, p.2)

2.2.1.1. Clasificación científica

- Reino : Plantae
- División : Magnoliophyta
- Clase : Magnoliopsida
- Orden : Caryophyllales
- Familia : Cactaceae
- Subfamilia : Opuntioideae
- Género : Opuntia
- Especie : ficus-indica (Amaya, 2009, p.7)



Figura 1. Pencas de *Opuntia ficus-indica*

2.2.1.2. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* (tuna)

Tabla 2: Análisis fitoquímico de la *Opuntia ficus-indica* (tuna)

| Parámetro | Valor |
|--------------------|-------|
| Ph | 4.42 |
| Humedad (%) | 90.23 |
| Calcio (%) | 0.27 |
| Hierro (ppm) | 32.55 |
| Flavonoides (mg/g) | 10.16 |
| Saponinas (mg/g) | 0.7 |

Fuente: Villabona (2013)

2.2.2. Cloruro Férrico

El cloruro de hierro o tricloruro de hierro (tradicionalmente llamado cloruro férrico) es un compuesto químico utilizado a escala industrial perteneciente al grupo de los haluros metálicos, cuya fórmula es FeCl_3 . Se observa muy raramente en su forma natural, el mineral molisita, que puede hallarse en algunas fumarolas. El cloruro férrico en solución al 40%, coagulante para tratamiento de aguas y efluentes, se comercializa habitualmente a granel.

Por su carácter covalente, es soluble en disolventes orgánicos. En disolución alcohólica se lo conoce como tintura de hierro. Cuando se disuelve en agua, el cloruro de hierro sufre hidrólisis y libera calor en

una reacción exotérmica. De ello resulta una solución ácida y corrosiva de color marrón que se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales, para la potabilización del agua, y en la industria electrónica para el grabado químico de plaquetas de circuito impreso. Al disolverse en agua, debería precipitar formando hidróxido de hierro, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, insoluble; sin embargo, forma una disolución coloidal de ese compuesto, que presenta el típico color pardo de las disoluciones de sales de hierro. (Químico global, 2011, p. 4)

2.2.2.1. Principales Aplicaciones

- Procesos de tratamiento de aguas residuales industriales y domiciliarias
 - Remoción de fosfato
 - Reducción de sólidos en suspensión
 - Precipitación de metales pesados
 - Deshidratado de lodos
 - Remoción de arsénico

- Procesos de tratamiento de agua potable
 - Reducción de la turbiedad
 - Abatimiento de arsénico
 - Remoción de color asociado a compuestos orgánicos

- Procesos mineros
 - Agente lixiviante de los concentrados de cobre

- Procesos químicos
 - Materia prima para colorantes
 - Agente decolorante en el refinado de aceites y grasas
 - Agente oxidante en la industria orgánica (Oxychile, 2015, p.2)

2.2.2.2. Peligros para la salud de las personas

- Efectos de una sobreexposición aguda (por una vez)

El mayor efecto lo produce su propiedad irritante, sobre todo de las vías respiratorias

- Inhalación

El producto emite vapores ácidos de cloro y de ácido clorhídrico, los que irritan fuertemente el sistema respiratorio

- Contacto con la piel

Produce irritación

- Contacto con los ojos

Produce irritación y puede producir quemaduras

- Ingestión

Produce irritación, náuseas y vómitos

- Efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo)

Puede producir efectos reproductivos. Para este producto se han informado efectos mutagénicos en cobayos (Oxiquim, 2007, p.2)

2.2.3. Río Lurín

El río Lurín, presenta un largo de 108,57 kilómetros, se encuentra ubicado en el Departamento de Lima, Perú. Se origina en los glaciares y lagunas de los Andes occidentales y es conocido como el río Chalilla hasta su confluencia con el riachuelo Taquíá a partir de donde recibe su nombre común. Sus principales afluentes son el Taquíá, Llacomayqui, Tinajas, Numincancho y Canchahuara en su margen izquierdo y el Chamacna en el derecho. Atraviesa las provincias de Huarochirí y Lima en el departamento de Lima antes de desembocar en el Océano Pacífico. La cuenca del río Lurín cubre un área de 1.670 kilómetros cuadrados. (Sucso, 2011, p.6)

Actualmente el río Lurín se encuentra contaminado por los vertidos residuales que están alterando las propiedades fisicoquímicas de sus aguas afectando directamente a la población y al ambiente

2.2.4. Sólidos en agua cruda

Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos.

Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables.

Los sólidos coloidales consisten en limo fino, bacterias, partículas causantes de color, virus, etc.

Los cuales no sedimentan sino después de periodos razonables, y su efecto global se traduce en el color y la turbiedad de aguas sedimentadas sin coagulación. Los sólidos disueltos, materia orgánica e inorgánica, son invisibles por separado, no son sedimentables y globalmente causan diferentes problemas de olor, sabor, color y salud, a menos que sean precipitados y removidos mediante métodos físicos y químicos. (Hernández, 2007, p.2)

2.2.5. Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos. El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada. (Andía, 2000, p.9)

2.2.5.1. Mecanismos de la coagulación

La desestabilización se puede obtener por los mecanismos fisicoquímicos siguientes:

- Compresión de la doble capa.

- Adsorción y neutralización de cargas.
- Atrapamiento de partículas en un precipitado.
- Adsorción y puente.

2.2.5.2. Coagulantes utilizados

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- Sulfato de Aluminio.
- Aluminato de Sodio.
- Cloruro de Aluminio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.
- Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación).

2.2.5.3. Factores que influyen en la coagulación

Los factores que influyen en la coagulación son los siguientes:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color.

2.2.6. Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. (Andía, 2000, p.33)

2.2.6.1. Tipos de floculación

- Floculación Pericinéctica

Está producido por el movimiento natural de las moléculas del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento browniano.

- Floculación Ortocinéctica

Se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Después que el agua es coagulada es necesario que se produzca la aglomeración de los microflóculos; para que esto suceda se produce primero la floculación pericinéctica luego se produce la floculación ortocinéctica. (Andía, 2000, p.33)

2.2.7. Prueba de jarras

La prueba de jarras es una técnica de laboratorio que pretende realizar una simulación del proceso de clarificación del agua que se lleva a cabo en la planta, de manera que permite evaluar a escala y de una manera rápida la acción que ejerce sobre el proceso de clarificación la variación de los diferentes parámetros como velocidad y/o tiempo de agitación, gradientes de velocidad producidos, dosificación de diversos compuestos químicos solos o en combinaciones, etc.

La prueba de jarras se usa para:

- Evaluar, determinar y optimizar las variables químicas del proceso de coagulación y/o floculación, esto es, medir el desempeño de uno o varios productos químicos dados, coagulante, floculante, etc., y encontrar la dosificación adecuada, tanto en términos de calidad final del agua obtenida, como en términos económicos. Determinar la concentración de la solución de coagulante más apropiada para utilizar en la planta.
- Encontrar el punto o etapa de dosificación adecuado para el producto que se ensaya.
- Evaluar y comparar el desempeño de una combinación de productos frente a:
 - Forma y secuencia de dosificación óptima de cada uno de ellos.
 - Punto o etapa ideal de dosificación.
 - Influencia en el proceso de la concentración de los químicos dosificados.
 - Determinación del pH óptimo de coagulación. (Pastor, 2016, p.1)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Agua cruda

“Ríos, Arroyos, Lagos, Lagunas y Acuíferos son las principales fuentes de abastecimiento. El agua cruda es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento”. (Rotoplas, 2012, p.1)

2.3.2. Coagulante

Son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. (Andía, 2000, p.14)

2.3.3. Turbiedad

La turbidez es la dificultad del agua, para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento. (Velandia, 2013, p.1)

2.3.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mgO₂/l. La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO₅. Con carácter general, cuanto más contaminación, más DBO.

Proporciona una medida aproximada y algunos valores de referencia en función del tipo del agua pueden ser:

- Pura: entre 2 y 20 mg/l
- Poco contaminada entre 20 y 100 mg/l
- Medianamente contaminada entre 100 y 500 mg/l
- Muy contaminada entre 500 y 3.000 mg/l
- Extremadamente contaminada entre 3.000 y 15.000 mg/l

(Kasetsu, 2015, p.2)

2.3.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es la demanda química de oxígeno del agua. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Se expresa también en mgO₂/L. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO es una prueba que solo toma alrededor de tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO. La DQO en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2.000 mgO₂/L, aunque puede llegar a 5.000 según el tipo de industria. (Kasetsu, 2015, p.3)

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Modelo de solución propuesto

3.1.1. Diseño de investigación

El diseño para esta investigación es experimental debido a que se analizaron dos grupos (grupo de control y grupo experimental), donde medimos las concentraciones iniciales del grupo de control y las concentraciones finales de la Turbidez, la DQO Y de la DBO5 luego de la aplicación de los dos tratamientos (T1: *Opuntia Ficus Indica*, T2: Cloruro Férrico) a tres dosis diferentes (40, 50 y 60 mg/L) en las aguas del río Lurín. La simulación del tratamiento se realizó mediante el test de jarras donde las variables independientes (coagulante natural: *Opuntia Ficus Indica* y coagulante artificial: Cloruro Férrico) fueron manipuladas para determinar la disminución producida en la variable dependiente (disminución de la Turbidez, DQO Y DBO5)

3.1.2. Fases de la investigación

3.1.2.1. Preparación del Coagulante Natural

Para la obtención del coagulante natural consideramos la metodología realizada por Villabona (2013) en la revista colombiana de biotecnología, debido a que obtuvo mejores resultados en la remoción de la turbidez del agua comparado con otros autores.

Las pencas de *Opuntia Ficus Indica* se adquirieron de la comunidad San Diego de Ishua, que se encuentra ubicado en el distrito de Aucara, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.



Figura 2. Pencas de San Diego de Ishua

- Limpieza y pesado de pencas

Se procedió a retirar las espinas de las pencas para posteriormente pesarlas



Figura 3. Limpieza de pencas



Figura 4. Pesado de pencas

- Remoción de la cutícula y corte de penca

Se procedió a retirar la cutícula de las pencas, con el objetivo de separar la pulpa, para posteriormente ser lavadas y cortadas en trozos.



Figura 5. Remoción de cutícula



Figura 6. Pulpa trozada

- Secado de pencas

Posteriormente la pulpa obtenida en trozos fue llevada a estufa durante 72 horas a 60 °C



Figura 7. Pulpa antes del proceso de secado



Figura 8. Tiras de penca deshidratadas

- Molienda y Tamizado

La penca obtenida fue triturada con la ayuda de un mortero y pilón para posteriormente ser tamizada con el uso de un tamiz N°18 (1mm)



Figura 9. Molienda de tiras de penca

- Extracción del pigmento

El polvo obtenido fue sometido a un proceso de extracción Soxhlet durante 4 horas utilizando etanol al 96% como solvente



Figura 10. Extracción de pigmento

- Almacenamiento de Coagulante

Se obtuvieron 13.06 g de polvo, el cual fue secado a temperatura ambiente y almacenado en el desecador hasta su uso



Figura 11. Pesado de polvo de penca

3.1.2.2. Toma de muestra

Se realizó el muestreo de agua superficial del río Lurín, en las coordenadas 12°16'7.49" S, 76°53'56.90" O

El volumen de muestra extraída fue de 22 litros, los cuales fueron transportados en una caja térmica a una temperatura de 5 °C hacia el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Además se midió la temperatura y el pH en el lugar de muestreo, así como también se adicionó a una de las muestras ácido sulfúrico para preservar la demanda química de oxígeno. Los procedimientos aplicados para el muestreo de agua superficial del río Lurín fueron obtenidos del protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA)



Figura 12. Ubicación de punto de muestreo



Figura 13. Muestreo de agua superficial



Figura 14. Monitoreo de pH y temperatura

3.1.2.3. Preparación de dosis coagulante natural

- Solución Madre

Se pesó 10 gramos de polvo de tuna los cuales fueron llevados a un vaso precipitado, posteriormente se le adicionó un litro de agua destilada.



Figura 15. Pesado de polvo de tuna



Figura 16. Solución madre de penca

- Dosis de coagulante natural

Las dosis establecidas para esta investigación es 40, 50 y 60 mg/L, para ello se obtuvo de la solución madre 4, 5 y 6 ml que fueron distribuidos en 3 vasos precipitados, adicionando 1 litro de agua destilada respectivamente



Figura 17. Dosis de coagulante natural

3.1.2.4. Preparación de dosis coagulante artificial

- Solución Madre

Se pesó 10,10 gramos de cloruro férrico los cuales fueron llevados a un vaso precipitado, posteriormente se le adicionó un litro de agua destilada.



Figura 18. Pesado de Cloruro Férrico



Figura 19. Solución madre de Cloruro Férrico

- Dosis de coagulante artificial

Las dosis establecidas para esta investigación es 40, 50 y 60 mg/L, para ello se obtuvo de la solución madre 4, 5 y 6 ml que fueron distribuidos en 3 vasos precipitados, adicionando 1 litro de agua destilada respectivamente



Figura 20. Dosis de coagulante artificial

3.1.2.5. Aplicación de test de jarras

El equipo de test de jarras fue programado para generar una homogenización, mezcla rápida y mezcla lenta en la muestra, simulando el proceso de coagulación y floculación. Para ello se tomó como referencia la investigación realizada por López (2018).

Las velocidades y tiempo programados en el equipo fueron los siguientes:

Tabla 3: Programación de equipo de jarras

| Etapa | Velocidad | Tiempo |
|----------------|-----------|-------------|
| Homogenización | 50 RPM | 10 segundos |
| Mezcla rápida | 100 RPM | 1 minuto |
| Mezcla lenta | 30 RPM | 20 minutos |
| Sedimentación | 0 RPM | 20 minutos |

Fuente: Elaboración propia, referencia López (2018)

Una vez programado el equipo, se procedió a agregar la muestra de agua de río Lurín en las 6 jarras correspondientes, y se dio inicio a la etapa de homogenización durante 10 segundos. Seguidamente empezó la etapa de la mezcla rápida durante 1 minuto en donde se adicionó los coagulantes naturales y artificiales (al mismo tiempo) con las dosis respectivas para cada jarra. Posterior a ello se realizó la mezcla lenta durante 20 minutos y finalmente se apagó el equipo para dar paso a la etapa de sedimentación.

Tabla 4: *Tratamiento de coagulante natural y artificial*

| Grupo de control | T1 <i>Opuntia Ficus-indica</i> | T2 Cloruro Férrico | Dosis mg/L |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------|
| GC | T1A-1 | T2A-1 | 40 mg/L |
| | T1A-2 | T2A-2 | |
| | T1A-3 | T2A-3 | |
| | T1B-1 | T2B-1 | 50 mg/L |
| | T1B-2 | T2B-2 | |
| | T1B-3 | T2B-3 | |
| | T1C-1 | T2C-1 | 60 mg/L |
| | T1C-2 | T2C-2 | |
| | T1C-3 | T2C-3 | |

Fuente: Elaboración propia

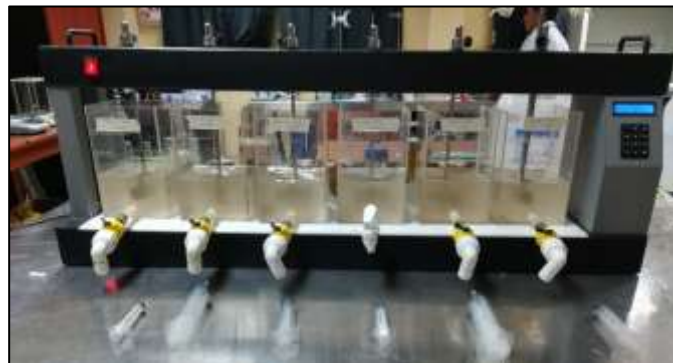


Figura 21. Tratamiento 1 de Opuntia Ficus y Cloruro Férrico a tres dosis

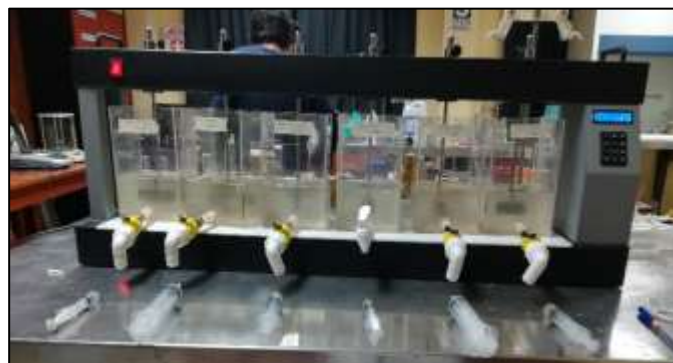


Figura 22. Tratamiento 2 de Opuntia Ficus y Cloruro Férrico a tres dosis



Figura 23. Tratamiento 3 de Opuntia Ficus y Cloruro Férrico a tres dosis

3.2. Resultados

3.2.1. Parámetros obtenidos antes del tratamiento

Se determinó la turbidez, DQO y DBO₅ de la muestra obtenida de las aguas del río Lurín previo al tratamiento de coagulantes, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5: *Parámetros iniciales de muestra de río Lurín*

| Muestra | Parámetros Analizados | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|-----------|
| | Turbidez (NTU) | DQO (O ₂ mg/L) | DBO ₅ (mg/L) | Temperatura (°C) | pH (Und.) |
| Agua superficial de río Lurín (2019) | 100 | 48 | 1.076 | 25.1 | 7.49 |

Fuente: Elaboración propia

Además a ello en la tabla N°6 se muestran los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la calidad de agua del río Lurín realizados por la Autoridad Nacional del Agua los cuales en su mayoría sobrepasan los estándares de calidad ambiental

Tabla 6: *Resultados del monitoreo de calidad de agua en la cuenca de río Lurín*

| Muestra | Parámetros Analizados | | | | | | |
|--|-------------------------|---------------------------|------------|------------|-----------|-------------------------------|------------------------------|
| | Oxígeno Disuelto (mg/L) | DQO (O ₂ mg/L) | DBO (mg/L) | Temp. (°C) | pH (Und.) | Coliformes Term. (NMP/100 mL) | Escherichia Coli (NMP/100mL) |
| Agua superficial de río Lurín (Rluri8) | 6.99 | 72.5 | 30.17 | 27.16 | 8.24 | 4900 | 2300 |

Fuente: Elaboración propia, referencia ANA (2014)

3.2.2. Prueba de las dosis de coagulante *Opuntia ficus-indica* y Cloruro Férrico

Aplicado el test de jarras, se procedió a medir la turbidez, DQO y DBO₅ finales obtenidos después del tratamiento

Tabla 7: *Parámetros después del tratamiento pH y turbidez*

| Prueba | N° de jarra | Coagulante | Concentración de coagulante (mg/L) | Parámetros | | |
|---------|-------------|-----------------------------|------------------------------------|------------|------------------------|----------------------|
| | | | | pH final | Turbidez Inicial (NTU) | Turbidez Final (NTU) |
| Primera | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 7.13 | 100 | 28.6 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 7.01 | 100 | 27.6 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 6.93 | 100 | 25.4 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 6.71 | 100 | 28.9 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 6.95 | 100 | 30.63 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 7.60 | 100 | 26.87 |
| Segunda | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 7.08 | 100 | 29.96 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 7.06 | 100 | 27.03 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 7.22 | 100 | 26.46 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 7.29 | 100 | 28.73 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 7.23 | 100 | 31.13 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 7.10 | 100 | 25.43 |
| Tercera | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 7.14 | 100 | 29.43 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 7.09 | 100 | 28.43 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 7.10 | 100 | 25.7 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 7.17 | 100 | 27.63 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 7.11 | 100 | 30.86 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 7.12 | 100 | 26.5 |

Fuente: Elaboración propia

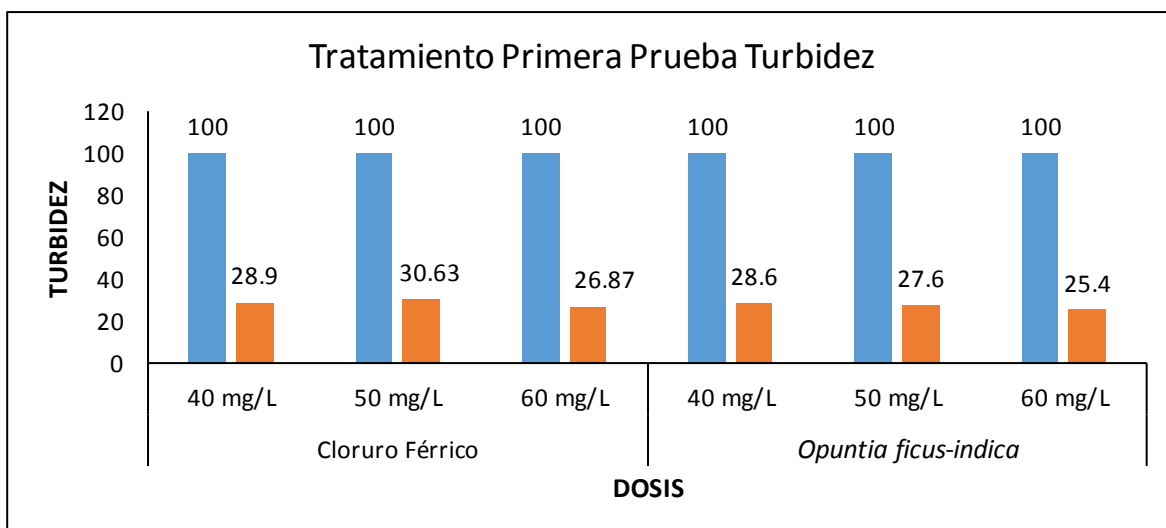
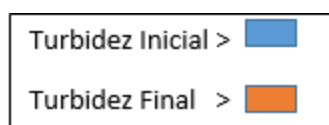


Figura 23: Resultados de turbidez después del tratamiento primera prueba



Los resultados con respecto a la turbidez para la primera prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de reducción de la turbidez con una dosis de 60 mg/L generando una disminución de la turbidez inicial 100 NTU a una turbidez final de 25.4 NTU, mientras que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una menor capacidad de reducción de la turbidez comparado con la *Opuntia ficus-indica*, siendo su dosis con mayor eficiencia 60 mg/L generando una turbidez final de 26.87 NTU

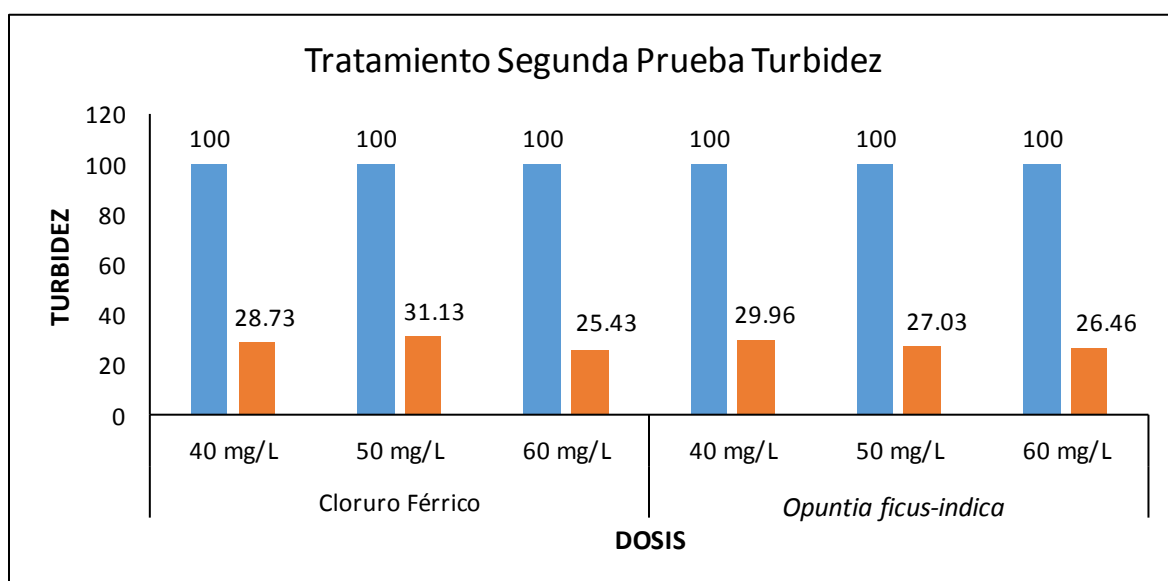
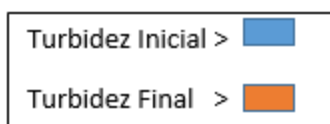


Figura 24: Resultados de turbidez después del tratamiento segunda prueba



Los resultados con respecto a la turbidez para la segunda prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una mayor capacidad de reducción de la turbidez con una dosis de 60 mg/L generando una disminución de la turbidez inicial 100 NTU a una turbidez final de 25.43 NTU, mientras que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una menor capacidad de reducción de la turbidez comparado con el Cloruro Férrico, siendo su dosis con mayor eficiencia 60 mg/L generando una turbidez final de 26.46 NTU

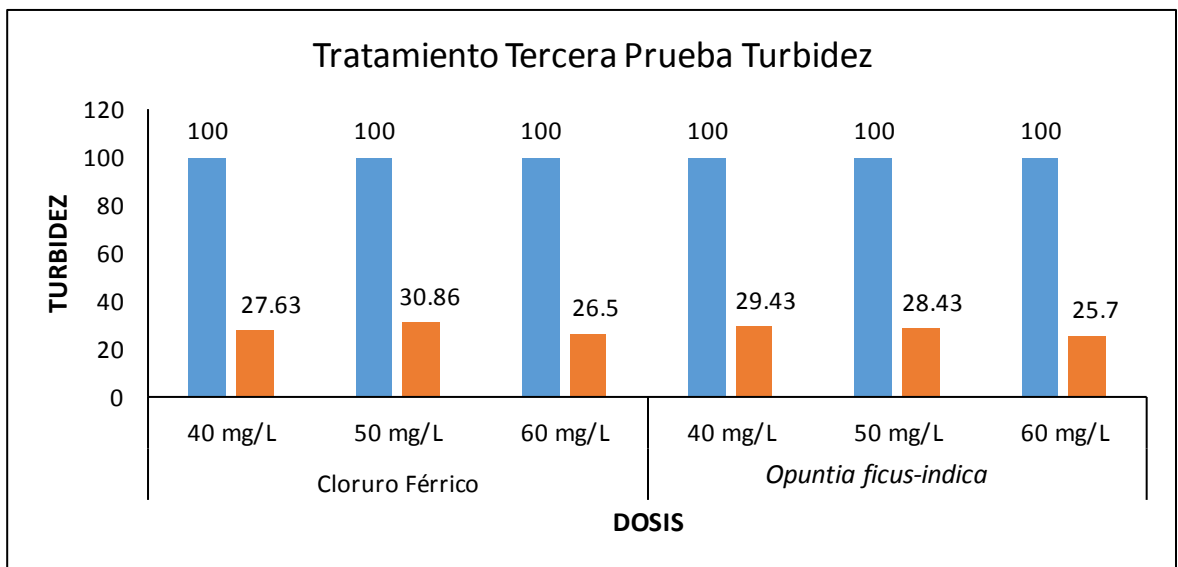
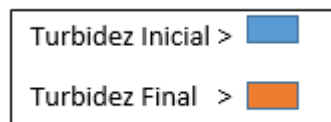


Figura 25: Resultados de turbidez después del tratamiento tercera prueba



Los resultados con respecto a la turbidez para la tercera prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de reducción de la turbidez con una dosis de 60 mg/L generando una disminución de la turbidez inicial 100 NTU a una turbidez final de 25.7 NTU, mientras que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una menor capacidad de reducción de la turbidez comparado con la *Opuntia ficus-indica*, siendo su dosis con mayor eficiencia 60 mg/L generando una turbidez final de 26.5 NTU.

En la tabla N°8 se muestra el porcentaje de reducción de la turbidez generada por los coagulantes *Opuntia ficus-indica* y Cloruro Férrico

Tabla 8: *Tratamiento con promedio de dosis, turbidez inicial, turbidez final y porcentaje de remoción*

| N° de jarra | Coagulante | Dosis | Turbidez Inicial | Turbidez Final | % de Remoción |
|-------------|-----------------------------|---------|------------------|----------------|---------------|
| 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 mg/L | 100 | 29.33 | 70.67 |
| 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 mg/L | 100 | 27.69 | 72.31 |
| 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 mg/L | 100 | 25.85 | 74.15 |
| 4 | Cloruro Férrico | 40 mg/L | 100 | 28.42 | 71.58 |
| 5 | Cloruro Férrico | 50 mg/L | 100 | 30.87 | 69.13 |
| 6 | Cloruro Férrico | 60 mg/L | 100 | 26.27 | 73.73 |

Fuente: Elaboración propia

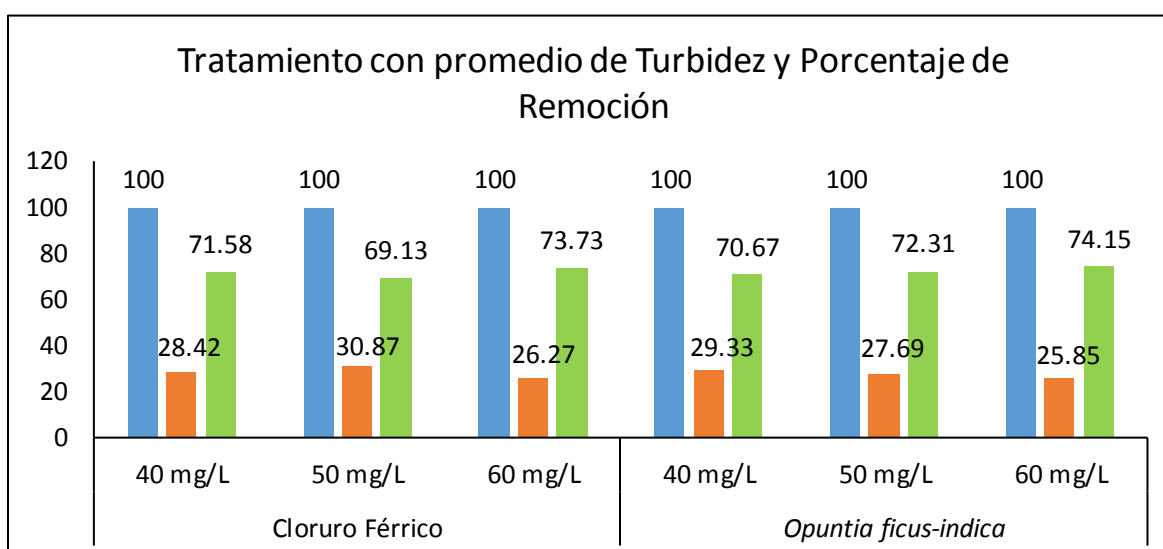
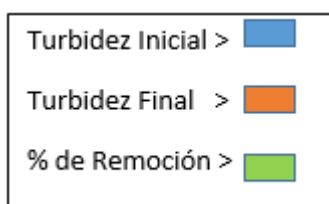


Figura 26: Resultados promedio de Turbidez y porcentaje de remoción después del tratamiento



Los resultados promedios obtenidos nos indican que el mayor porcentaje de remoción de turbidez es el 74.14 % correspondiente al coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con una dosis de 60 mg/L y una turbidez final de 25.85 NTU, mientras que el Cloruro Férrico indica que su mayor porcentaje de remoción es 73.73 % con una dosis de 60 mg/L y una turbidez final de 26.26 NTU

En la tabla N°9 se indica los resultados obtenidos de la demanda química de oxígeno después del tratamiento realizado

Tabla 9: *Parámetros después del tratamiento DQO*

| Prueba | N° de jarra | Coagulante | Concentración de coagulante (mg/L) | Parámetro | |
|---------|-------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------|
| | | | | DQO Inicial (mg/L) | DQO Final (mg/L) |
| Primera | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 48 | 28 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 48 | 18 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 48 | 12 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 48 | 30 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 48 | 12 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 48 | 21 |
| Segunda | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 48 | 26 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 48 | 17 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 48 | 12 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 48 | 32 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 48 | 13 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 48 | 20 |
| Tercera | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 48 | 27 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 48 | 18 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 48 | 11 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 48 | 34 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 48 | 14 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 48 | 20 |

Fuente: Elaboración propia

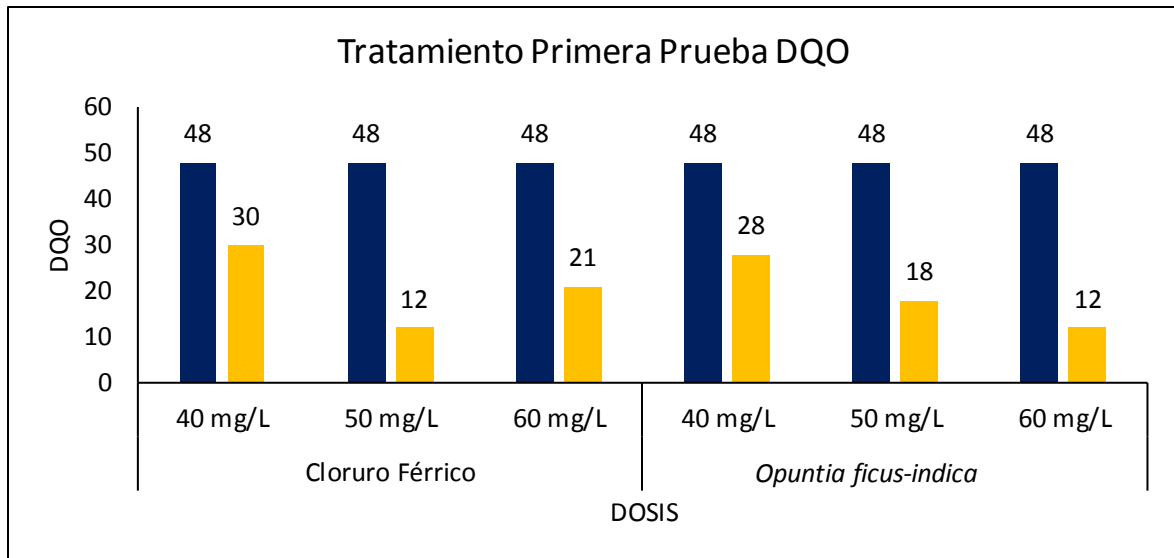
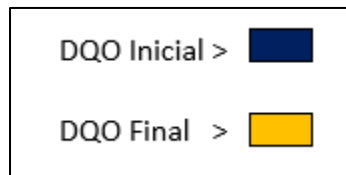


Figura 27: Resultados de DQO después del tratamiento primera prueba



Los resultados con respecto a la demanda química de oxígeno para la primera prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* y el Cloruro Férrico presentan en su dosis 60 mg/L y 50 mg/L respectivamente una gran capacidad de remoción de DQO, generando una reducción de la DQO inicial 48 mg/L a una DQO final de 12 mg/L

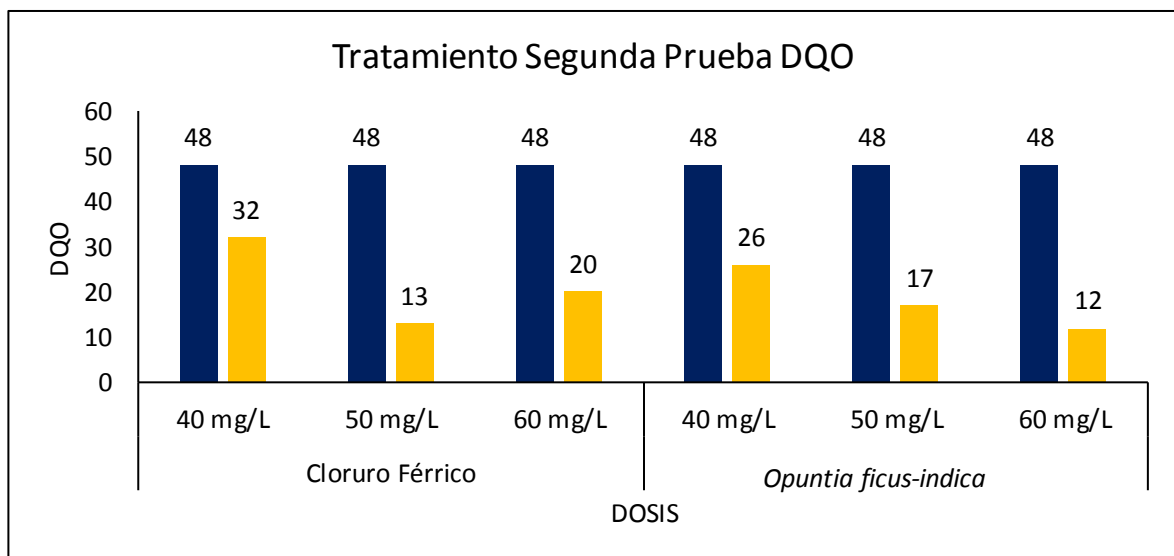
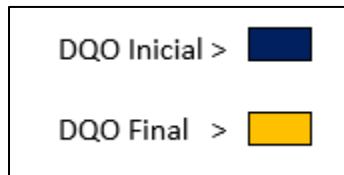


Figura 28: Resultados de DQO después del tratamiento segunda prueba



Los resultados con respecto a la demanda química de oxígeno para la segunda prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de reducción de la DQO con una dosis de 60 mg/L generando una disminución de la DQO inicial 48 mg/L a una DQO final de 12 mg/L, mientras que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una menor capacidad de reducción de DQO comparado con la *Opuntia ficus-indica*, siendo su dosis con mayor eficiencia 50 mg/L generando una DQO final de 13 mg/L

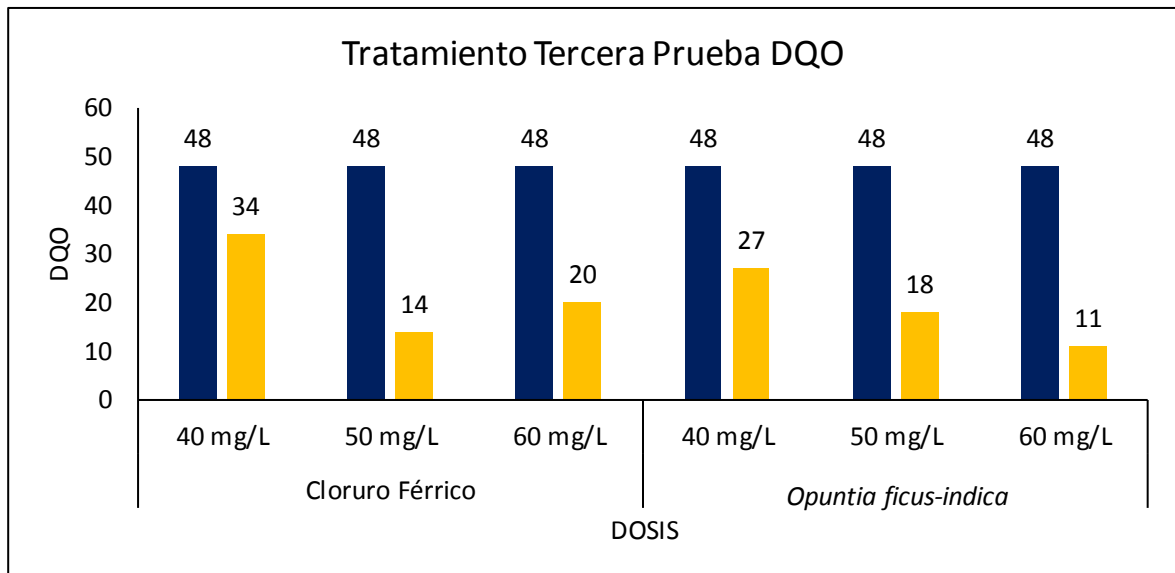
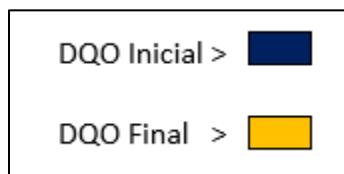


Figura 29: Resultados de DQO después del tratamiento tercera prueba



Los resultados con respecto a la demanda química de oxígeno para la tercera prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de reducción de la DQO con una dosis de 60 mg/L generando una disminución de la DQO inicial 48 mg/L a una DQO final de 11 mg/L, mientras que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una menor capacidad de reducción de DQO

comparado con la *Opuntia ficus-indica*, siendo su dosis con mayor eficiencia 50 mg/L generando una DQO final de 14 mg/L.

Tabla 10: *Tratamiento con promedio de dosis, DQO inicial, DQO final y porcentaje de remoción*

| N° de jarra | Coagulante | Dosis | DQO Inicial | DQO Final | % de reducción |
|-------------|-----------------------------|---------|-------------|-----------|----------------|
| 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 mg/L | 48 | 27 | 43.75 |
| 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 mg/L | 48 | 17.67 | 63.19 |
| 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 mg/L | 48 | 11.67 | 75.69 |
| 4 | Cloruro Férrico | 40 mg/L | 48 | 32 | 33.33 |
| 5 | Cloruro Férrico | 50 mg/L | 48 | 13 | 72.92 |
| 6 | Cloruro Férrico | 60 mg/L | 48 | 20.33 | 57.64 |

Fuente: Elaboración propia

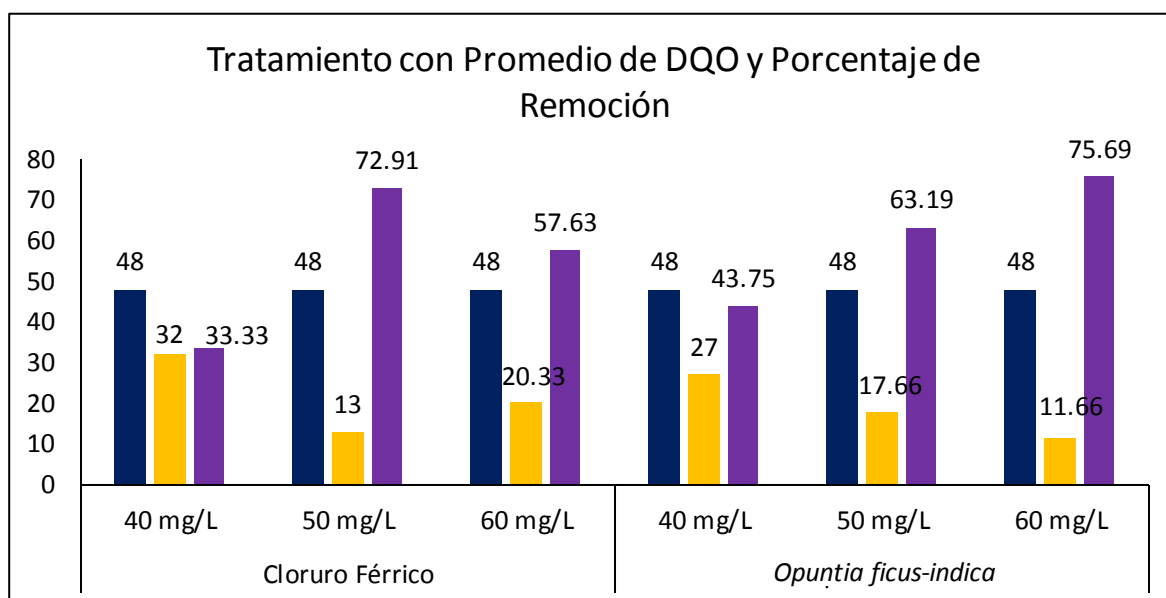
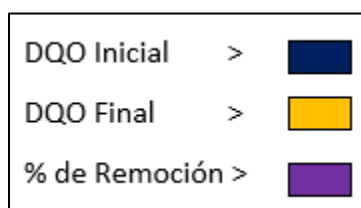


Figura 30: Resultados promedio de DQO y porcentaje de remoción después del tratamiento



Los resultados promedios obtenidos nos indican que el mayor porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno es el 75.69 % correspondiente al coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con una dosis de 60 mg/L y una DQO final de 11.66 mg/L, mientras que el Cloruro Férrico indica que su mayor porcentaje de remoción es 72.91 % con una dosis de 50 mg/L y una DQO final de 13 mg/L

En la tabla N°11 se indica los resultados obtenidos de la demanda bioquímica de oxígeno después del tratamiento realizado (5 días)

Tabla 11: *Parámetros después del tratamiento DBO₅*

| Prueba | N° de jarra | Coagulante | Concentración de coagulante (mg/L) | Parámetro | |
|---------|-------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | | | DBO ₅ Inicial (mg/L) | DBO ₅ Final (mg/L) |
| Primera | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 1.076 | 0.60 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 1.076 | 0.99 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 1.076 | 1.03 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 1.076 | 1.03 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 1.076 | 0.76 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 1.076 | 0.97 |
| Segunda | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 1.076 | 0.72 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 1.076 | 1.02 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 1.076 | 1.01 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 1.076 | 0.79 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 1.076 | 0.98 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 1.076 | 1.01 |
| Tercera | 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 | 1.076 | 0.72 |
| | 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 | 1.076 | 0.99 |
| | 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 | 1.076 | 1.03 |
| | 4 | Cloruro Férrico | 40 | 1.076 | 0.74 |
| | 5 | Cloruro Férrico | 50 | 1.076 | 0.82 |
| | 6 | Cloruro Férrico | 60 | 1.076 | 1.02 |

Fuente: Elaboración propia

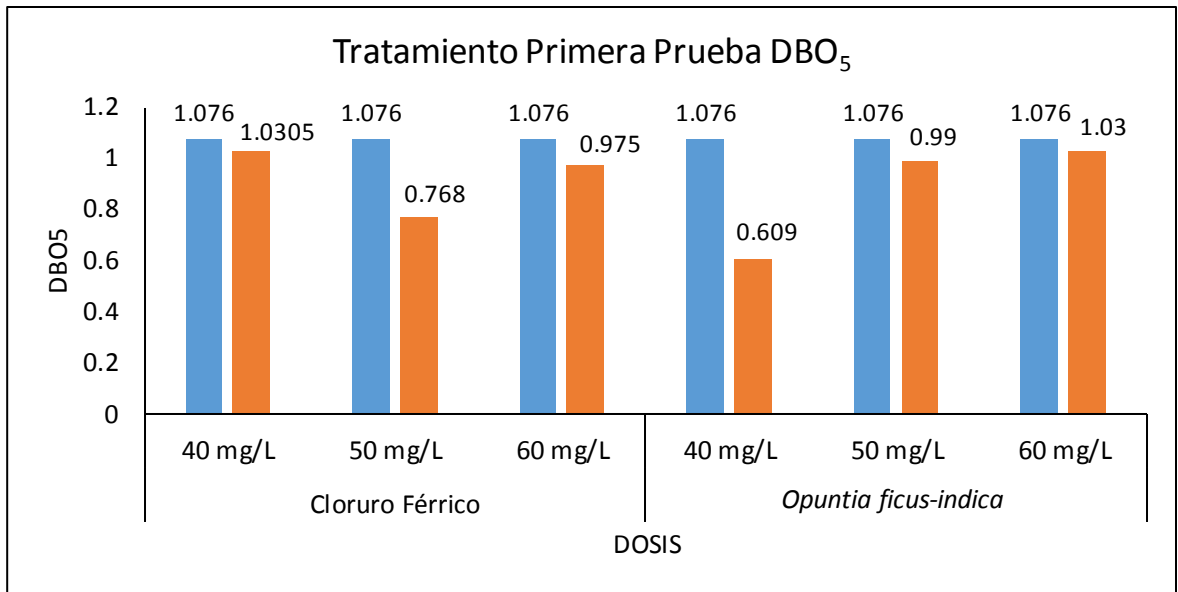
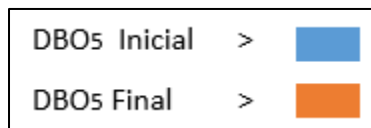


Figura 31: Resultados de la DBO₅ después del tratamiento primera prueba



Los resultados con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno para la primera prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de reducción de la DBO₅ con una dosis de 40 mg/L generando una reducción de la DBO₅ inicial 1.076 mg/L a una DBO₅ final de 0.609 mg/L, mientras que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una menor capacidad de reducción de DBO₅ comparado con la *Opuntia ficus-indica*, siendo su dosis con mayor eficiencia 50 mg/L generando una DBO₅ final de 0.768 mg/L

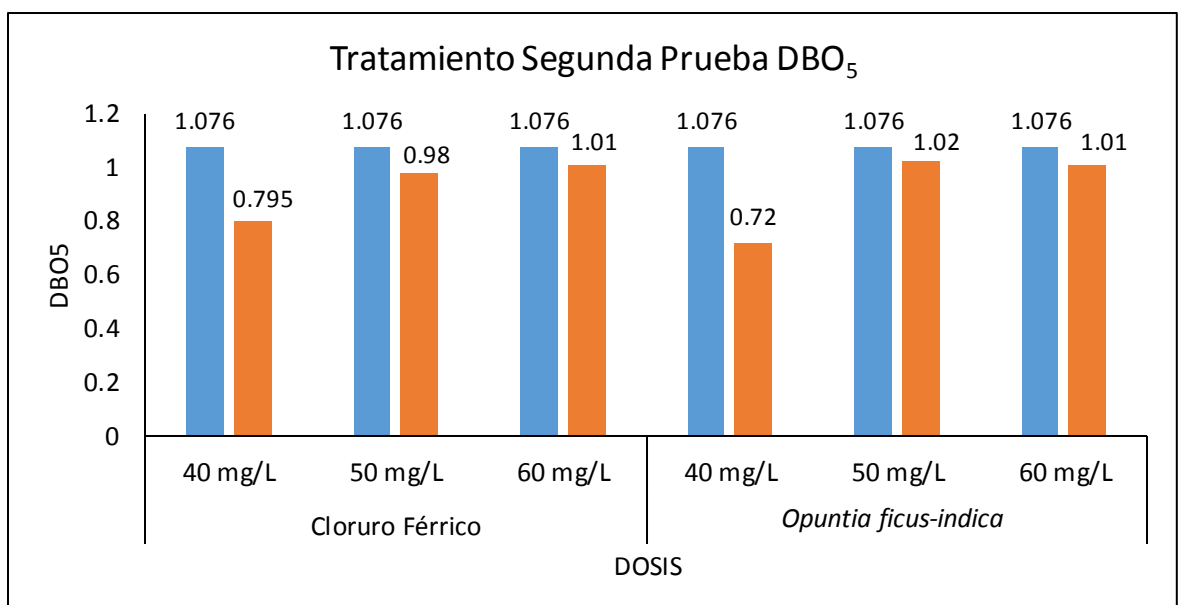
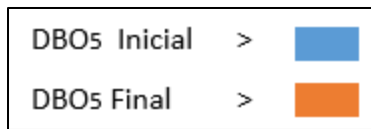


Figura 32: Resultados de la DBO₅ después del tratamiento segunda prueba



Los resultados con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno para la segunda prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de reducción de la DBO₅ con una dosis de 40 mg/L generando una reducción de la DBO₅ inicial 1.076 mg/L a una DBO₅ final de 0.72 mg/L, mientras que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una menor capacidad de reducción de la DBO₅ comparado con la *Opuntia ficus-indica*, siendo su dosis con mayor eficiencia 40 mg/L generando una DBO₅ final de 0.79 mg/L

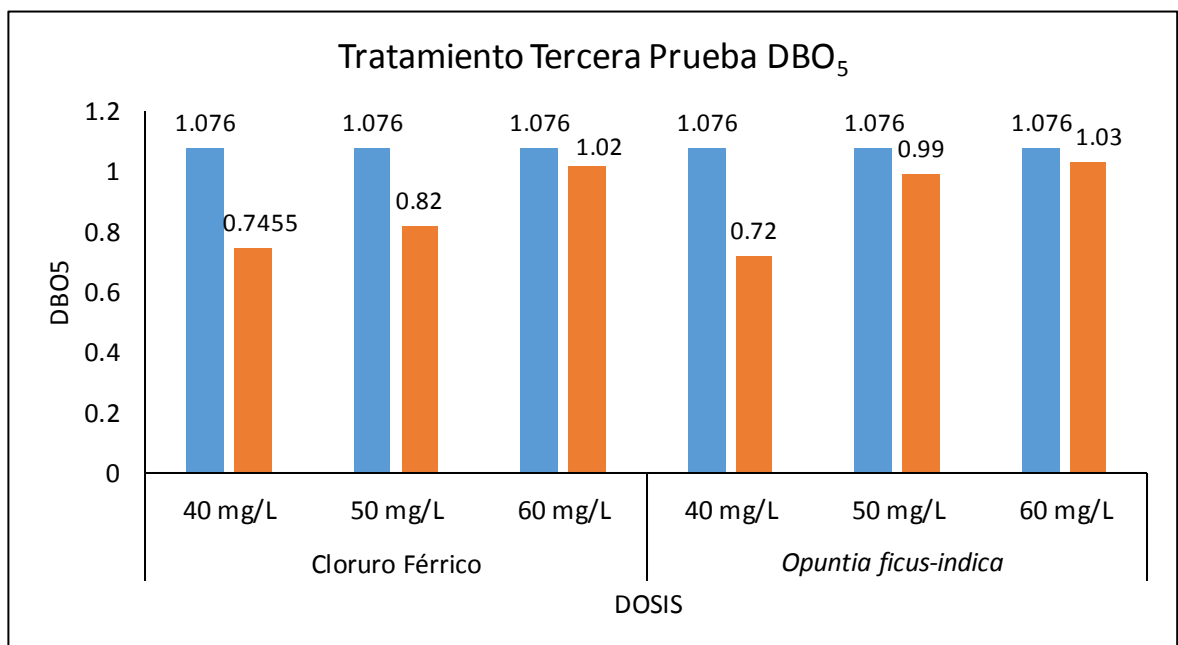
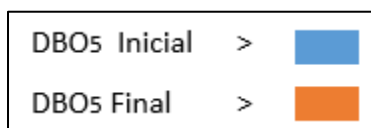


Figura 33: Resultados de la DBO₅ después del tratamiento tercera prueba



Los resultados con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno para la tercera prueba de tratamiento, nos indican que el coagulante natural *Opuntia ficus-indica* tiene una mayor capacidad de reducción de la DBO₅ con una dosis de 40 mg/L generando una reducción de la DBO₅ inicial 1.076 mg/L a una DBO₅ final de 0.72 mg/L, mientras que el coagulante artificial Cloruro Férrico tiene una menor capacidad de reducción de la

DBO₅ comparado con la *Opuntia ficus-indica*, siendo su dosis con mayor eficiencia 40 mg/L generando una DBO₅ final de 0.74 mg/L

Tabla 12: *Tratamiento con promedio de dosis, DBO₅ inicial, DBO₅ final y porcentaje de remoción*

| N° de jarra | Coagulante | Dosis | DBO ₅ Inicial | DBO ₅ Final | % de reducción |
|-------------|-----------------------------|---------|--------------------------|------------------------|----------------|
| 1 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 40 mg/L | 1.08 | 0.68 | 36.80 |
| 2 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 50 mg/L | 1.08 | 1 | 7.06 |
| 3 | <i>Opuntia ficus-indica</i> | 60 mg/L | 1.08 | 1.02 | 5.20 |
| 4 | Cloruro Férrico | 40 mg/L | 1.08 | 0.85 | 21 |
| 5 | Cloruro Férrico | 50 mg/L | 1.08 | 0.85 | 21 |
| 6 | Cloruro Férrico | 60 mg/L | 1.08 | 1 | 7.06 |

Fuente: Elaboración propia

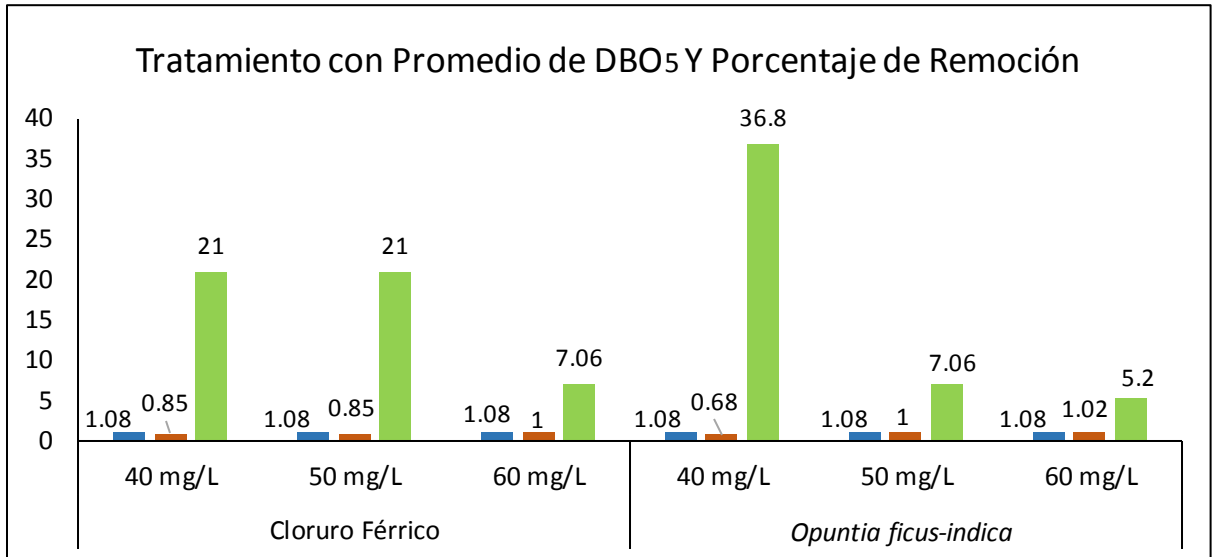
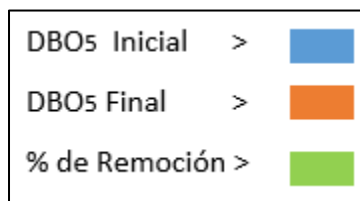


Figura 34: Resultados promedio de DBO₅ y porcentaje de remoción después del tratamiento



Los resultados promedios obtenidos nos indican que el mayor porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno es el 36.8% correspondiente al coagulante natural *Opuntia ficus-indica* con una dosis de 40 mg/L y una DBO₅ final de 0.68 mg/L, mientras que el Cloruro Férrico indica que su mayor porcentaje de remoción es 21% con una dosis de 40 y 50 mg/L y una DBO₅ final de 0.85 mg/L

CONCLUSIONES

- El coagulante natural *Opuntia ficus-indica* obtuvo el mayor porcentaje de remoción de turbidez siendo este 74.14 % con una dosis de 60 mg/L y una turbidez final de 25.85 NTU, mientras que el Cloruro Férrico indica que su mayor porcentaje de remoción es 73.73 % con una dosis de 60 mg/L y una turbidez final de 26.26 NTU, es por ello que podemos indicar que el coagulante natural es más eficiente que el coagulante artificial con respecto a la remoción de turbidez
- El coagulante natural *Opuntia ficus-indica* obtuvo el mayor porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno siendo este 75.69 % con una dosis de 60 mg/L y una DQO final de 11.66 mg/L, mientras que el Cloruro Férrico indica que su mayor porcentaje de remoción es 72.91 % con una dosis de 50 mg/L y una DQO final de 13 mg/L, es por ello que podemos indicar que el coagulante natural es más eficiente que el coagulante artificial con respecto a la remoción de la demanda química de oxígeno
- El coagulante natural *Opuntia ficus-indica* obtuvo el mayor porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno siendo este 36.8 % con una dosis de 40 mg/L y una DBO₅ final de 0.68 mg/L, mientras que el Cloruro Férrico indica que su mayor porcentaje de remoción es 21% con una dosis de 40 y 50 mg/L y una DBO₅ final de 0.85 mg/L, es por ello que podemos indicar que el coagulante natural es más eficiente que el coagulante artificial con respecto a la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno
- En cuanto al costo del tratamiento para la purificación de las muestras obtenidas del río Lurín, para la *Opuntia ficus-indica* el costo generado fue menor en comparación a la del Cloruro Férrico, ya que debemos tener en cuenta que durante el tratamiento del agua, el coagulante artificial genera lodos, lo que dificulta el proceso generando un mayor presupuesto.
- Se usaron 10 gramos de *Opuntia ficus-indica* y 10.10 gramos de Cloruro Férrico para el tratamiento de 18 litros de agua contaminada de río Lurín, invirtiendo 5 y 8 soles aproximadamente, cabe indicar que para la *Opuntia ficus-indica* se tuvo que lavar, pelar y secar obteniendo el coagulante natural en polvo mientras que para el Cloruro Férrico se obtuvo de forma directa

RECOMENDACIONES

- Debido a los resultados obtenidos se recomienda la utilización del coagulante natural *Opuntia ficus-indica* para el tratamiento primario de agua superficial de ríos contaminados como el del río Lurín, río Rímac, entre otros. De acuerdo con el informe técnico de estadísticas ambientales realizado por el instituto nacional de estadística e informática, el río Rímac tuvo en el mes de febrero del 2019 una turbidez de 718.1 UNT, el cual sobrepasa el estándar de calidad ambiental establecido en el decreto supremo N°004-2017- MINAM. Es por ello que es necesario implementar nuevas alternativas que nos permitan realizar el tratamiento de aguas superficiales contaminadas de forma eficiente y segura para la población y el ambiente.
- Realizar una mayor cantidad de pruebas con el test de jarras para poder obtener más resultados de cada parámetro y de esa forma disminuir la dispersión que pueda generarse entre estos.
- Debemos tener en cuenta que 10 gramos de polvo de coagulante natural de tuna obtenidos de 4 pencas (20cm x 10cm) pueden tratar 81.25 m³ de agua contaminada de río Lurín, además de ello sabemos que en una hectárea de terreno podemos sembrar 2500 cultivos de tuna los cuales transformados en coagulante natural podrían tratar aproximadamente 609375 m³ de agua contaminada
- Además es importante saber que el caudal del río Lurín en tiempo de avenida es 4.61 m³/s y de acuerdo a esta investigación podríamos tratar el agua de río Lurín durante aproximadamente 36 horas con una siembra de tuna de una hectárea, es por ello que si deseamos implementar el coagulante natural en una planta de tratamiento, debemos tener en cuenta el nivel de contaminación del agua a tratar y el caudal del efluente que ingrese a nuestra planta

- Durante la preparación del coagulante natural se recomienda hacerle seguimiento al proceso de secado en estufa pues la penca de tuna podría quemarse si no es controlado adecuadamente
- La *Opuntia ficus-indica* puede ser utilizada también para controlar la erosión de los suelos ya que crece rápidamente, pues sus raíces pequeñas vuelven a crecer cada año desde la raíz principal. Durante los períodos secos las raíces pequeñas mueren, agregando materia orgánica al suelo, generando que sea más fácil para este absorber el agua de lluvia. (Candelario, 2018, p.167)
- De acuerdo a su poder calorífico la *Opuntia ficus-indica* puede ser utilizada para la producción de biogás, la cual puede ser utilizada en vehículos o para generar electricidad. Cada tonelada de nopal produce 100 metros cúbicos de biogás que equivalen a 100 000 litros de gasolina y su uso es tan amigable con el bolsillo como con el medio ambiente. (Sosa, 2018, p.1)
- Promover la investigación de otros coagulantes naturales que permitan la reducción de sólidos suspendidos y mejoren las propiedades del agua superficial

BIBLIOGRAFÍA

Amaya Robles, Julio (2009). "El cultivo de Tuna" Opuntia ficus indica. Trujillo, Perú.

Autoridad Nacional del Agua, Marzo (2014). "Segundo monitoreo de calidad de agua superficial en la cuenca del río Lurín- Lima". Lima, Perú

Andía Cárdenas Yolanda. (05 abril de 2000). Tratamiento de agua Coagulación y floculación. Lima: Sedapal. Recuperado de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

Bayro Javier Morejón Díaz. (2017), Utilización del mucílago de Tuna (opuntia ficus-indica) en el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano, en la comunidad de Pusir Grande, provincia del Carchi, (tesis de pregrado) Universidad Técnica del Norte.

Candelario Mondragon, J. (2018, 01 de mayo). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Icarda. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>

Cepes (04 de marzo de 2017). Diagnostico calidad de agua cuenca río Lurín. Perú: Cepes. Recuperado de http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/diagnostico_calidad_aguatomo2/diagnostico_calidad_agua_cuenca_rio_lurin.pdf/

Christina Elizabeth Montoya Arias y Kimberly Alexandra Silencio Acuña, (2017), titulado: "Evaluación de pH, concentración de FeSO₄ y FeCl₃, en la remoción de sólidos suspendidos y sulfuros en efluentes de pelambre en curtiembres", (tesis para optar el grado académico de ingeniero químico) Universidad Nacional de Trujillo.

Decreto supremo N°004-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 07 de junio del 2017

Godoy Briones, V. M. (2018). Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de Tuna, (tesis de pregrado) Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú

Hernández Ana María (02 agosto de 2007). Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C. Colombia: Ideam. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

Igreda, Manuel. (21 de enero de 2012). Denuncian a sedapal por contaminar playa de Lurín. Perú 21. Recuperado de <https://peru21.pe/lima/denuncian-sedapal-contaminar-playa-lurin-12729>

Karina Urquía Collantes. (2017), Eficiencia de la Opuntia Ficus-Indica frente a la Moringa Oleífera, en el tratamiento de aguas del Río Huaycoloro, SJL-2017, (tesis de pregrado) Universidad César Vallejo. Lima-Perú.

Kriss Estefany Razuri Malqui. (2017), Disminución del contenido de la DBO y la DQO mediante coagulantes naturales (Aloe Vera L. y Opuntia ficus indica) en las aguas del canal de regadío E-8 Chuquitanta – San Martín de Porres, (tesis de pregrado) Universidad César Vallejo. Lima-Perú.

Lozano Florián, L. L. (2018). Efecto en la disminución de la turbidez en el agua por floculantes de Opuntia ficus-indica (Tuna) con diferentes procesos de extracción en el río Chonta de Cajamarca, 2018, (tesis de pregrado) Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca-Perú

Malena, L. P. (2018). Evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas, (tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú.

Medizzine (09 de junio de 2010). Nopal (*Opuntia ficus indica*) información para usuarios y pacientes. México: Medizzine. Recuperado de <http://www.medizzine.com/plantas2/nopal.php>

Nihonkasetu (23 de junio de 2015). DBO y DQO para caracterizar aguas residuales. Chile: Nihonkasetu. Recuperado de <http://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>

Oxiquim (20 de marzo de 2007). Oxiquim. México: Oxiquim. Recuperado de http://www.asiquim.com/nwebq/download/HDS/Cloruro_Ferrico.pdf

Oxychile (10 de mayo de 2015). Oxychile. Chile: Oxychile. Recuperado de http://www.oxychile.cl/opensite_20073.aspx

Pastor torín José (30 de octubre de 2016). Prueba de jarras. México: sistemajpi. Recuperado de <http://sistemajpii.blogspot.com/2016/10/prueba-de-jarras.html>

Químico Global (11 de abril de 2011). Químico Global. México: Químico Global. Recuperado de <https://quimicoglobal.mx/cloruro-ferrico/>

Rocío Lizeth Gabino Curiñahui. (2018), *Opuntia ficus-indica* como coagulante para remoción de sólidos suspendidos totales del efluente de beneficio en avícola la chacra, (tesis de pregrado) Universidad Continental. Huancayo-Perú

Sonia Milagros Jara Vásquez. (2018). Uso del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo "*Tamarindus indica* L." para reducir sólidos coloidales en laboratorio de las aguas del río Lurín, Lima - 2018, (tesis de pregrado) Universidad César Vallejo, Lima-Perú

Sosa Rogelio. (24 de abril de 2018). Mexicanos producen con nopal biogás único en el mundo como alternativa limpia de combustible. América Economía. Recuperado de <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/mexicanos-producen-con-nopal-biogas-unico-en-el-mundo-como-alternativa-limpia-de>

Sucso Ruth (17 de febrero de 2011). Externalidades en cuenca del río Lurín. Perú: Rsucso. Recuperado de <http://rsucso.blogspot.com/>

Velandia Barrera Yeniffer Shirley. (18 enero de 2013). Turbiedad del agua. Lima: Blogspot. Recuperado de <http://turbiedaddelagua.blogspot.com/p/bibliografia.html>

Vico Torres Contreras. (2017), Análisis del coagulante natural opuntia ficus con fines de implementación de una planta potabilizadora de agua en Chalhuanca, Apurímac, 2016, (tesis de pregrado) Universidad César Vallejo. Lima-Perú

Villabona Ortiz, Ángel, Paz Astudillo, Isabel Cristina y Martínez García, Jasser. (2013). Caracterización de la Opuntia ficus-indica para su uso como coagulante natural. Revista Colombiana de Biotecnología, Volumen (15) ,137-144

Zanabria Jose García (2019). Estadísticas Ambientales. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-estadisticas-ambientales-marzo2019.pdf>