

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

1. MARCO TEORICO

1.1.Almidón de papa:

La papa se cultiva en diferentes épocas del año según las regiones de Tarija, Bolivia. Según un estudio, la papa se cultiva en agosto en las zonas de los valles, y en noviembre a diciembre en las zonas de los altiplanos. En el departamento de Tarija, los principales productos agrícolas son: maíz, trigo, papa, vid y hortalizas. Las principales zonas productoras de semilla de papa en Tarija son los municipios de Padcaya, San Lorenzo, El Puente, Uriondo y Yunchará.

El almidón de papa se extrae a partir de las papas mediante un proceso que implica los siguientes pasos:

1.1.1. Machacado:

Las papas se machacan o se trituran para romper las células y liberar los gránulos de almidón que se encuentran en su interior.

1.1.2. Lavado:

Después de machacar las papas, se procede a lavar la masa resultante con agua para eliminar los residuos y las impurezas. El lavado ayuda a separar los gránulos de almidón de otros componentes de la papa.

gránulos de almidón se sedimenten en el fondo del recipiente. Durante este proceso de decantación, los gránulos de almidón se separan del agua y otros sólidos.

1.1.3. Decantación:

La masa de papa triturada y lavada se deja reposar para permitir que los secan los gránulos para obtener un polvo fino de almidón de papa.

El almidón de papa contiene compuestos llamados amilosa y amilopectina, que le confieren propiedades floculantes. Estos compuestos tienen la capacidad de formar enlaces con las partículas suspendidas en el agua, lo que facilita su aglomeración y posterior sedimentación. La amilosa y la amilopectina actúan como agentes

coagulantes y floculantes naturales, ayudando a unir las partículas y formar flóculos más grandes que se pueden eliminar más fácilmente del agua. (Herrera, 2015)

1.1.4. Composición Química

- **Estructura de Amilopectina y Amilosa:**

El almidón de papa está compuesto principalmente por amilopectina (aproximadamente 70-80%) y amilosa (20-30%). La amilopectina, siendo un polímero ramificado, tiene una mayor capacidad para interactuar con partículas suspendidas en el agua, facilitando su aglomeración y sedimentación

- **Carga Poli electrolítica:**

El almidón de papa presenta características de polielectrolito debido a la presencia de grupos funcionales que pueden ionizarse en solución. Esto le permite interactuar electrostáticamente con partículas cargadas, promoviendo la formación de flóculos. Esta propiedad es crucial para la coagulación, ya que ayuda a neutralizar las cargas negativas de las partículas en suspensión.

1.1.5. Propiedades Físico-Químicas

- **Solubilidad y Viscosidad:**

El almidón se gelatiniza al calentarse en agua, formando una solución viscosa que puede atrapar partículas suspendidas. Esta propiedad es esencial para su función como floculante, ya que mejora la cohesión entre las partículas y facilita su sedimentación.

- **pH Óptimo:**

La eficacia del almidón como floculante varía con el pH del medio. Se ha encontrado que un pH cercano de 7 a 10 maximiza su capacidad de remoción de turbidez, ya que en estos rangos se favorece la ionización de sus grupos funcionales, aumentando su interacción con las partículas.

1.2.Almidón de yuca:

La yuca se cultiva en diferentes zonas del país, incluyendo el Chaco en los departamentos de Santa Cruz, Tarija y una pequeña parte de Chuquisaca, y la zona de Yungas en los departamentos de La Paz, y Beni.

El almidón de yuca también contiene amilosa y amilopectina, al igual que el almidón de papa, lo que le confiere propiedades gelificantes y una alta capacidad de retención de agua.

Estas propiedades pueden ser beneficiosas en el tratamiento de aguas residuales, ya que el almidón de yuca podría ayudar a aglomerar y sedimentar las partículas suspendidas en el agua.

1.2.1. Composición Química

- **Amilopectina y Amilosa:**

El almidón de yuca está compuesto principalmente por amilopectina (70-80%) y amilosa (20-30%). La amilopectina, con su estructura ramificada, proporciona una mayor capacidad para interaccionar con partículas en suspensión, facilitando la formación de flóculos.

- **Contenido de Carbohidratos:**

El almidón extraído presenta un alto contenido de carbohidratos (alrededor del 89.59%), lo que contribuye a su capacidad para formar geles y retener agua, propiedades que son esenciales en el proceso de floculación¹.

- **Temperatura de Gelatinización:**

La temperatura de gelatinización del almidón de yuca se encuentra entre 63 °C y 66 °C. Esta propiedad es crucial, ya que la gelatinización permite que el almidón forme una red tridimensional que atrapa partículas, mejorando la sedimentación durante el tratamiento del agua.

- **Poder de Hinchamiento:**

El poder de hinchamiento del almidón de yuca es significativo (hasta 15.26), lo que indica su capacidad para absorber agua y expandirse, contribuyendo a la aglomeración de partículas suspendidas. Esta propiedad es fundamental para la efectividad del almidón en la formación de flóculos.

- **Solubilidad y Viscosidad:**

El almidón presenta un índice de solubilidad relativamente bajo (aproximadamente 8,55), lo que significa que mantiene su estructura en solución, favoreciendo la formación de un gel estable que puede atrapar partículas.

1.2.2. pH

Es el potencial de hidrogeno. Este se mide en escala del 1(acido) al 14(alcalino) siendo 7 su valor neutro. El pH generalmente lo podemos definir como la sustancia que se separa en el agua para producir iones de hidrogeno, mientras que otra base se separa en una solución acuosa formando iones de hidróxido. (Cervantes, Constanzo, & Gomez, 2014)

Debemos recordar que el agua es un compuesto que tiene la capacidad de separarse en iones de hidrogeno e hidróxido. (Olarte, 2017)

1.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales:

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, antiguamente también llamadas Lagunas de Oxidación, son un sistema de tratamiento para las aguas negras y grises, cuyo origen proviene de la actividad humana, ya sea, doméstica, comercial, industrial, etc., en el que se altera la composición natural del agua, debido a los desechos orgánicos y químicos. (saguapac, 2022)

Los coloides son de gran importancia en las Aguas Residuales Urbanas (ARU) por varias razones:

1.3.1. Tratamiento de aguas residuales:

Los coloides presentes en las aguas residuales pueden afectar el proceso de tratamiento. Por ejemplo, los coloides pueden interferir con la sedimentación y la filtración, lo que dificulta la eliminación de partículas y contaminantes del agua

1.3.2. Transporte de contaminantes:

Los coloides pueden actuar como transportadores de contaminantes en las ARU. Debido a su pequeño tamaño y gran área superficial, los coloides pueden adsorber y transportar compuestos orgánicos e inorgánicos, como metales pesados y compuestos orgánicos persistentes

1.3.3. Calidad del agua:

Los coloides también pueden afectar la calidad del agua en las ARU. Por ejemplo, los coloides hidrofóbicos pueden ser responsables de la coloración del agua y pueden tener un origen orgánico

1.3.4. Procesos de separación:

Los coloides también pueden influir en los procesos de separación utilizados en el tratamiento de aguas residuales, como la filtración y la adsorción. La presencia de coloides puede obstruir los medios de filtración y reducir la eficiencia de los procesos de separación

En resumen, los coloides desempeñan un papel importante en las ARU, tanto en el tratamiento de aguas residuales como en la calidad del agua. Su presencia y comportamiento pueden afectar los procesos de tratamiento y la eficiencia de los sistemas de purificación del agua.

El principal objetivo del tratamiento de aguas residuales es permitir que los efluentes humanos e industriales sean eliminados, para así, no causar peligro a la salud humana e impactar de manera negativa al medio ambiente.

Cuando tenemos aguas residuales, ya sean de zonas residenciales o industriales, es fundamental someterlas al tipo de tratamiento adecuado para eliminar o reducir los contaminantes. Uno de estos procesos, de los más utilizados, es la floculación.

La floculación es un proceso químico que utiliza floculantes para que las sustancias coloidales que están en el agua se aglutinen, decanten y posteriormente se filtre.

la misión del floculante es neutralizar las cargas electrostáticas de las partículas de contaminantes para que se unan entre sí.

En Latinoamérica, existen plantas que utilizan floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales. Algunas de estas plantas utilizan la semilla de la Moringa Oleífera como coagulante natural

La Moringa Oleífera es una planta que ha demostrado tener propiedades floculantes y coagulantes, lo que la hace efectiva en la eliminación de partículas y contaminantes del agua. (Barreto Pardo, Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas., 2019)

Además, se ha investigado el uso de coagulantes naturales extraídos de otras plantas, como la variedad *Echinopsis pachanoi*, que han mostrado resultados prometedores en la remoción de sólidos en el agua residual.

Es importante destacar que el uso de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales puede ser una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente en comparación con los coagulantes químicos convencionales. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones y estudios para evaluar su eficacia y viabilidad a gran escala.

1.4. Proceso de coagulación

La coagulación es un proceso común en el tratamiento de aguas aplicado para la desestabilización de impurezas coloidales y disueltas, produciendo agregados de flóculos grandes que pueden ser removidos por subsiguientes procesos de filtración/clarificación (GAO, 2002)

Este proceso se lleva a cabo agregando coagulantes, los cuales pueden ser clasificados como inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales (OKUDA, 2001)

Del amplio rango de coagulantes que pueden ser usados para el tratamiento de las aguas, los más comunes son: sulfato férrico, sulfato de aluminio y cloruro férrico (JIANG, 2002)

Sin embargo, se ha reportado que el aluminio residual presente en las aguas, como resultado del tratamiento con alumbre, está relacionado con el mal de Alzheimer, producción de grandes volúmenes de lodo, reacción con la alcalinidad natural presente en el agua y la baja eficiencia en la coagulación de aguas frías. Desventajas similares se han reportado para las sales de hierro y los polímeros sintéticos (Ndabigengesere, 1995)

De acuerdo a Br. Carlos Daniel Avelares et. 2020 menciona en su estudio realizado sobre la **“Implementación de semilla de marango (*Moringa oleífera*) como floculante natural para el tratamiento de agua residual proveniente del cultivo de tilapia de la Estación Experimental Acuícola”** que se confirma que la semilla de *M. oleífera* es un potente agente coagulante y floculante de partículas suspendidas en aguas turbias, sin embargo, existe la necesidad de enriquecer la presente investigación para mejorar la efectividad de absorción de nutrientes como nitrato y fosfato.

De acuerdo a David Choque Q. 2018 menciona en su estudio acerca de la **“Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua”**. Dice que los parámetros fisicoquímicos del agua residual artificial tratada con los tres coagulante naturales extraídos con los diferentes solventes, como el pH muestran diferencia significativa, incrementándose ligeramente de 6.61 del agua sin tratar a 7.58, mientras que la dureza y la alcalinidad no muestran diferencia significativa ($p\text{-value} > 0.05$), por otra parte la DBO del agua residual artificial tratada muestra diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$) incrementándose con el porcentaje de

aplicación del coagulante de 0.57 mg O₂ /l inicial hasta valores de 3.66 ± 0.05 mg O₂ /l.

De acuerdo a Luz Melynca Villanueva Barragan 2020 concluye en su trabajo "Polímeros naturales para sustituir floculantes químicos en el tratamiento de aguas para consumo humano. Una revisión" que los polímeros naturales con mayor eficiencia son: *Opuntia ficus indica* con 90 – 98.20% y *Moringa oleífera* con 96.8%, esto demuestra que los polímeros vegetales son una alternativa viable para el tratamiento de aguas para consumo, beneficiosa para la salud humana y el medio ambiente, y se recomienda su uso en poblaciones rurales y urbanas como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la población consumidora.

De acuerdo a Pablo Daniel Quino Quispe 2020 en su investigación sobre la "Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación-floculación con semillas de Durazno (*Prunus pérsica*), Tuna (*Opuntia ficus indica*) y cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) del río Jillusaya.

Concluyó que con respecto a los parámetros físicos-químicos de los vegetales se determinó la cantidad de lípidos cenizas y humedad que estos contienen, siendo así que la cantidad de lípidos fue uno de los factores que pudo determinar la eficiencia de remoción de sólidos en las muestras de agua. Respecto al análisis de agua pretratamiento fue para conocer el punto de partida de los parámetros físicos y químicos y observar cómo estos fueron cambiando después de los tratamientos con sulfatos y coagulantes vegetales. Con relación a los tratamientos post tratamiento fue para ver cómo estos cambian, de los cuales ya fueron interpretados minuciosamente en los resultados, siendo así que los parámetros cambian drásticamente con la aplicación de sulfatos respecto a los coagulantes vegetales, así también la temperatura afecta de manera significativa a la variación de los resultado, como mejor alternativa al uso de químicos en cuanto a parámetros de esta naturaleza se recomienda el uso de cascara de papa a temperaturas ambiente como 19°C que mostro resultados similares al sulfato de aluminio, sin descartar el uso de pencas de tuna a temperaturas más elevadas como (22-25) °C que mostraron resultados semejantes a los de la

cascara de papa. En cuanto a parámetros químicos se pudo observar en los resultados una variación baja en la aplicación de diferentes coagulantes vegetales respecto al sulfato de aluminio, cabe recalcar que el sulfato de aluminio respecto a los coagulantes vegetales no afecta considerablemente al cambio de parámetros químicos, sin embargo ambos muestran una ligera mejora de estos parámetros por lo cual como alternativa se podría optar por la aplicación de la cascara de papa y pencas de tuna para tratamiento primario de aguas turbias residuales.

1.5. Semillas de Moringa:

La Moringa es una planta que se encuentra en diferentes regiones de Bolivia y se cultiva en algunas zonas del país.

Las semillas de Moringa tienen propiedades floculantes naturales que las hacen útiles en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se presentan algunas de estas propiedades:

- **Capacidad de coagulación y floculación:**

Las semillas de Moringa tienen una alta capacidad de coagulación y floculación, lo que las hace efectivas en la eliminación de partículas y contaminantes del agua. (Picón, 2019)

- **Eficacia independiente del pH:**

La eficacia de las semillas de Moringa como floculante es independiente del pH del agua, lo que las hace adecuadas para su uso en una amplia gama de condiciones. (WIKIWATER, 2020)

- **Sostenibilidad:**

Las semillas de Moringa son una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente en comparación con los coagulantes químicos convencionales, ya que son un producto natural y renovable. (Picón, 2019)

1.5.1. Composición Química

- **Proteínas Catiónicas:**

Las semillas de Moringa contienen proteínas catiónicas que son responsables de su capacidad floculante. Estas proteínas pueden interactuar con partículas cargadas negativamente en el agua, neutralizando sus cargas y facilitando la aglomeración. Se ha demostrado que estas proteínas son efectivas en concentraciones que varían entre 3.5 mg/l y 170 mg/l, logrando eficiencias de remoción de turbidez superiores al 90% en algunos casos.

- **Aceite y Ácido Oleico:**

Las semillas contienen aproximadamente un 40% de aceite, siendo el ácido oleico uno de sus componentes principales (73%). Este aceite no solo contribuye a las propiedades floculantes, sino que también ayuda a reducir la turbidez y la actividad bacteriana en el agua tratada.

1.5.2. Mecanismo de Acción

- **Interacción Electroquímica:**

La acción floculante del polvo de Moringa se basa en su capacidad para actuar como un polielectrolito. Al ser introducido en el agua, las proteínas catiónicas se adsorben a las partículas suspendidas, formando puentes entre ellas y promoviendo la formación de flóculos que pueden sedimentar.

- **Independencia del pH:**

Una ventaja significativa del uso de Moringa como floculante es su eficacia independiente del pH del agua. Esto significa que no se requieren ajustes adicionales del pH, lo que simplifica el proceso de tratamiento.

1.6. Semillas de ajipa:

Ajipa es una planta leguminosa nativa del lado oriental de los Andes en Bolivia, que crece en elevaciones entre 800 y 2600 msnm.

Es altamente nutritivo y contiene minerales como nitrógeno, potasio, calcio, fósforo y hierro (N, Ca, P, Fe).

La ajipa también es rica en fibra, proteínas, carbohidratos, azúcares y almidón.

Se cultiva en varias regiones de Bolivia, incluyendo Caraparí y comunidades a lo largo del río Pilaya.

1.6.1. Composición Química

- **Proteínas:**

Las semillas de ajipa tienen un alto contenido proteico, que puede variar entre el 25% y el 30% en materia seca. Estas proteínas son fundamentales para su capacidad floculante, ya que actúan como coagulantes naturales al interactuar con las partículas suspendidas en el agua. (Leidi, 2002)

- **Aminoácidos:**

Entre los aminoácidos presentes, destaca la canavanina, que tiene potenciales aplicaciones farmacológicas. Este aminoácido no solo contribuye a las propiedades nutricionales de las semillas, sino que también puede influir en sus características funcionales como floculante. (Leidi, 2002)

- **Aceites y Grasas:**

El contenido de grasas en las semillas oscila entre el 18% y el 22%. El aceite extraído tiene un alto contenido de γ -tocoferol (vitamina E) y ácido palmítico, lo que le confiere propiedades antioxidantes y potenciales aplicaciones industriales. (Leidi, 2002)

- **Minerales:**

Las semillas contienen minerales esenciales como hierro y calcio, con concentraciones comparables a otras leguminosas. Estos minerales pueden influir en la actividad floculante y en la salud general del agua tratada. (Leidi, 2002)

- **Compuestos Tóxicos:**

Es importante mencionar que las semillas también contienen rotenona, un compuesto insecticida que puede ser tóxico para ciertos organismos, aunque su baja toxicidad para mamíferos permite su uso controlado en aplicaciones específicas.

1.6.2. Propiedades Floculantes

Las propiedades floculantes de las semillas de ajipa se deben principalmente a su contenido proteico y a la capacidad de sus proteínas para:

- **Neutralizar Cargas:**

Las proteínas catiónicas se unen a partículas cargadas negativamente en el agua, facilitando su aglomeración.

- **Formar Flóculos:**

A través del proceso de coagulación, las partículas se agrupan formando flóculos más grandes que pueden ser removidos del agua mediante sedimentación o filtración.

- **Sólidos Disueltos**

Representan la totalidad de material suspendido y disuelto que contiene el agua podemos definirlo como el material que permanece en el agua después de eliminar los sólidos en suspensión, ya que proceden de la capacidad que tiene el agua de disolver sólidos, líquidos y gases, los podemos clasificar: orgánicos e inorgánicos la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto incluye cualquier elemento presente en el agua que no sea (H₂O) molécula de agua pura y sólidos en suspensión. (Sólidos en suspensión son partículas / sustancias que ni se disuelven ni se asientan en el agua, tales como pulpa de madera.) En general, la concentración de sólidos disueltos totales es la suma de los cationes (carga positiva) y aniones (cargado negativamente) iones en el agua. Partes por millón (ppm) es la relación peso-a-peso de cualquier ion al agua (Deloya, 2006)

1.7. Sólidos suspendidos.

Los sólidos suspendidos se refieren a pequeñas partículas que no se disuelven en el agua y que pueden incluir materia orgánica, sedimentos, microorganismos, y otros contaminantes. Estos sólidos afectan la claridad del agua y pueden influir en procesos de tratamiento y calidad del agua.

1.8. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características de las misma han sido modificadas por actividades humanas, se les llama también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales, por esta razón la calidad de estas necesita un tratamiento previo antes de ser reutilizadas o vertidas en algún cuerpo receptor, ya que estas aguas contienen sustancias tanto disueltas como en suspensión, ambas pueden ser orgánicas e inorgánicas. (Equipo editorial, 2021)

1.9. Turbidez

La turbidez es un parámetro esencial que mide la claridad del agua, reflejando la cantidad de partículas sólidas suspendidas en ella. Este fenómeno se relaciona con la opacidad del agua, donde un mayor número de sólidos en suspensión resulta en una menor transparencia.

2. MARCO CONCEPTUAL

- **Aguas residuales:** Agua que procede de viviendas, poblaciones o zonas industriales y arrastra suciedad y detritos.
- **Almidón de yuca:** Es un polvo fino natural obtenido de la molienda de la yuca. El almidón es un carbohidrato, compuesto por amilosa y amilopectina.
- **Coloides:** Los coloides son las partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial.
- **Coagulación:** La coagulación es el proceso que neutraliza los sólidos suspendidos cargados en el agua.
- **Floculantes:** Los floculantes son sustancias que, al ser añadidas al agua, inducen la formación de flóculos.
- **Floculación:** La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

- **Laguna anaerobia:** Las lagunas anaerobias son un tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza procesos biológicos para descomponer la materia orgánica en ausencia de oxígeno. A continuación, se describen sus características, funcionamiento y ventajas.
- **Laguna de oxidación:** Una laguna de oxidación es una excavación de poca profundidad en la cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural los patógenos relacionados con la materia orgánica.
- **Prueba de jarras:** La prueba de jarra es la técnica más extensamente usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros. En ella se tratan de simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio.
- **Semilla de ajipa:** La ajipa es un tubérculo que crece entre los 800 y los 2600 m.s.n.m. En Bolivia se la encuentra en los valles interandinos y Yungas. Su nombre científico es *Pachyrhizus ahipa*; es una planta que pertenece a la familia de las leguminosas y su cultivo data desde la época precolombina.
- **Semillas de moringa:** La moringa es una semilla procedente de un árbol cultivado en regiones tropicales con numerosas propiedades farmacológicas y nutricionales. Sus semillas poseen la capacidad de purificar y filtrar el agua de los ríos, potenciando el efecto del charcoal en polvo.
- **Tratamiento:** El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan los contaminantes del agua para que el ser humano pueda hacer uso de ella.
- Sustancias contaminantes presentes en el agua:
- **Sólidos suspendidos:** (mayores a 6-10 mg/l) estos pueden ser de origen mineral (arena, arcilla etc.) u orgánicos (productos de la descomposición de plantas y animales, por ejemplo, ácidos húmicos o fúlvicos). Además, microorganismos como bacterias plancton, algas y virus. Los sólidos suspendidos son responsables de la turbidez y el color del agua.

- **Sustancias disueltas:** (menores de 10-9 mg/l) estas son usualmente sustancias inorgánicas como cationes y aniones y sustancias orgánicas como ácidos, alcoholes, aldehídos, etc. También puede haber gases presentes oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, etc.).

3. MARCO LEGAL

Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia

Derechos fundamentales reconocidos en la Constitución Política del Estado (C.P.E.) Art.16 I, II y III - Art. 20 I, II y III

Artículo 16.

- I. Toda persona tiene derecho al agua y a la alimentación.
- II. El Estado tiene la obligación de garantizar la seguridad alimentaria, a través de una
- III. alimentación sana, adecuada y suficiente para toda la población.

Artículo 20.

- I. Toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas domiciliario, postal y telecomunicaciones.
- II. Es responsabilidad del Estado, en todos sus niveles de gobierno, la provisión de los servicios básicos a través de entidades públicas, mixtas, cooperativas o comunitarias. En los casos de electricidad, gas domiciliario y telecomunicaciones se podrá prestar el servicio mediante contratos con la empresa privada. La provisión de servicios debe responder a los criterios de universalidad, responsabilidad, accesibilidad, continuidad, calidad, eficiencia, eficacia, tarifas equitativas y cobertura necesaria; con participación y control social.
- III. El acceso al agua y alcantarillado constituyen derechos humanos, no son objeto de concesión ni privatización

De acuerdo a la Constitución Política del Estado (C.P.E. Art. 33 I) donde indica que: las personas tienen derecho a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado. El ejercicio de este derecho debe permitir a los individuos y colectividades de las presentes y futuras generaciones, además de otros seres vivos, desarrollarse de manera normal y permanentes.

Estructura y organización económica del Estado

Título II Medio Ambiente, Recursos Naturales, Tierra y Territorio

Capítulo segundo: recursos naturales

Artículo 348. I. Son recursos naturales los minerales en todos sus estados, los hidrocarburos, el agua, el aire, el suelo y el subsuelo, los bosques, la biodiversidad, el espectro electromagnético y todos aquellos elementos y fuerzas físicas susceptibles de aprovechamiento.

II. Los recursos naturales son de carácter estratégico y de interés público para el desarrollo del país.

Artículo 349. I. Los recursos naturales son de propiedad y dominio directo, indivisible e imprescriptible del pueblo boliviano, y corresponderá al Estado su administración en función del interés colectivo.

II. El Estado reconocerá, respetará y otorgará derechos propietarios individuales y colectivos sobre la tierra, así como derechos de uso y aprovechamiento sobre otros recursos naturales.

III. La agricultura, la ganadería, así como las actividades de caza y pesca que no involucren especies animales protegidas, son actividades que se rigen por lo establecido en la cuarta parte de esta Constitución referida a la estructura y organización económica del Estado.

Capítulo Quinto: Recursos Hídricos

Artículo 373. I. El agua constituye un derecho fundamentalísimo para la vida, en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado promoverá el uso y acceso al agua sobre

la base de principios de solidaridad, complementariedad, reciprocidad, equidad, diversidad y sustentabilidad.

II. Los recursos hídricos en todos sus estados, superficiales y subterráneos, constituyen recursos finitos, vulnerables, estratégicos y cumplen una función social, cultural y ambiental.

Estos recursos no podrán ser objeto de apropiaciones privadas y tanto ellos como sus servicios no serán concesionados y están sujetos a un régimen de licencias, registros y autorizaciones conforme a ley.

Artículo 374. I. El Estado protegerá y garantizará el uso prioritario del agua para la vida. Es deber del Estado gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes

Ley del Medio Ambiente

Capítulo II

Del recurso agua

ARTICULO 36°.- Las aguas en todos sus estados son de dominio originario del Estado y constituyen un recurso natural básico para todos los procesos vitales. Su utilización tiene relación e impacto en todos los sectores vinculados al desarrollo, por lo que su protección y conservación es tarea fundamental del Estado y la sociedad.

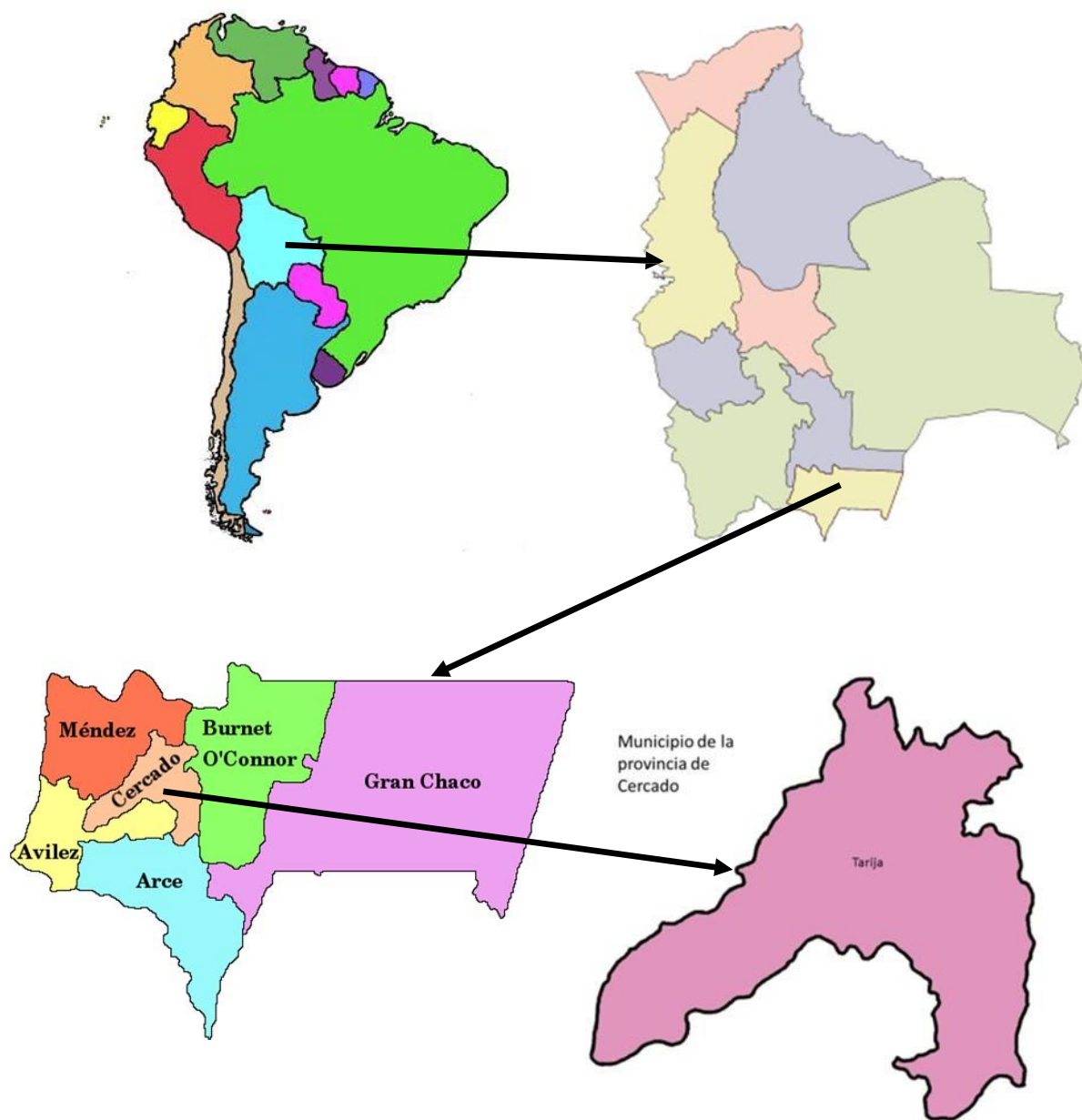
ARTICULO 39°.- El Estado normará y controlará el vertido de cualquier sustancia o residuo líquido, sólido y gaseoso que cause o pueda causar la contaminación de las aguas o la degradación de su entorno. Los organismos correspondientes reglamentarán el aprovechamiento integral, uso racional, protección y conservación de las aguas.

La ley tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

CAPITULO II
MATERIALES Y METODOS

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio



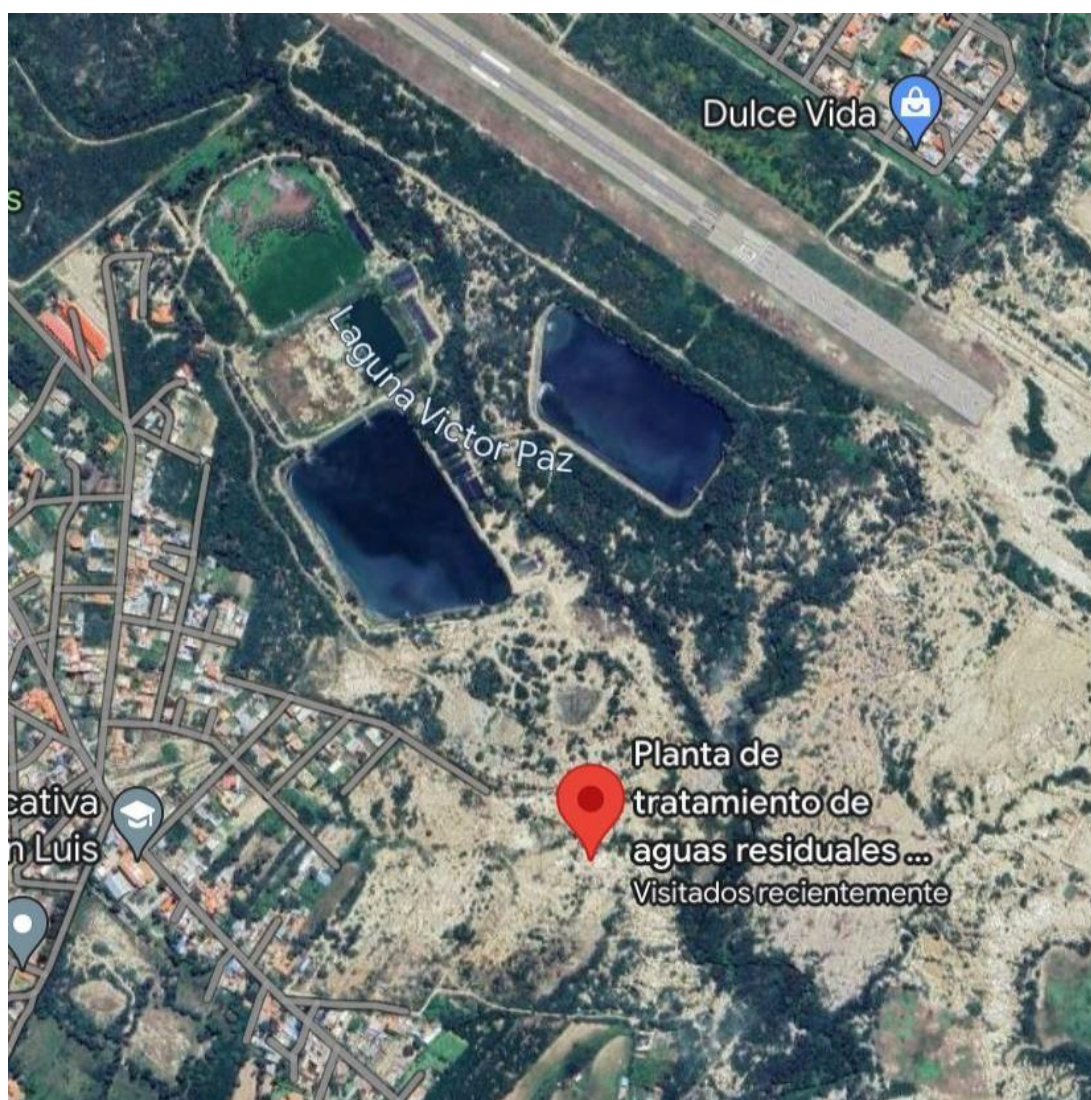


FIGURA 1 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE OXIDACIÓN

Fuente: Google maps

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo en el Barrio San Luis, ubicado en la provincia Cercado, departamento de Tarija.

2.2. Características Biofísicas:

2.2.1. Clima:

La provincia Cercado es la región que tiene instalada una red aceptable de estaciones meteorológicas, consistente en 7 estaciones climáticas y 10 estaciones pluviométricas, la mayor información récord es la estación Aeropuerto y la más completa El Tejar. Para realizar las respectivas interpolaciones a través de un Sistema de Informadas.

Geográfica y obtener los diferentes mapas temáticos de precipitación, temperatura. se precisó de otras estaciones aledañas a la Provincia Cercado. (PTDI, 2021)

2.2.2. Temperatura

En forma general el clima de la provincia Cercado, en función a 9 estaciones climáticas, se presenta con una temperatura media anual de 17,42°C la máxima media de 25,52°C Mínima de 9, 42° C se tiene en verano extrema máxima de 39,4°C y extrema mínima de invierno de -8,62°C. (PTDI, 2021)

2.2.3. Precipitación

La precipitación se caracteriza por periodos relativamente cortos de lluvias (noviembre-abril), con regímenes de precipitaciones muy variables en cuanto a frecuencia e intensidad y con un periodo largo de estiaje (mayo-octubre), periodo en el cual es más notorio el déficit de agua en las subcuencas del Río Santa Ana, Sella. (PTDI, 2021)

2.2.4. Vientos

Se presenta vientos débiles a moderados de dirección variable de origen local, el régimen normal de vientos en la provincia Cercado, que corresponde en gran parte al Valle Central de Tarija, está determinado por el ingreso de masas de aire denso a través. (PTDI, 2021)

2.3. Metodología

La metodología a usarse en esta investigación es:

2.3.1. Cuantitativa:

La metodología cuantitativa es un enfoque de investigación que se centra en la recopilación y análisis de datos numéricos para describir, explicar y predecir fenómenos observables.

La metodología cuantitativa permite hacer predicciones basadas en los datos recopilados. Por ejemplo, se puede estimar la cantidad óptima de floculante necesaria para tratar un volumen específico de agua residual y lograr una turbidez inferior a un valor determinado.

2.3.2. Cualitativa:

La **metodología cualitativa** se centra en la comprensión profunda de los fenómenos a través de la interpretación y análisis de experiencias, percepciones y procesos. En este trabajo de investigación sobre el uso de floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales, este enfoque es complementario al cuantitativo y ofrece valiosas perspectivas sobre aspectos cualitativos del proceso.

2.3.3. Experimental:

La metodología experimental se refiere a un conjunto de procedimientos utilizados para llevar a cabo experimentos que permiten al investigador evaluar la relación de causa y efecto entre variables. Este enfoque es fundamental en diversas disciplinas científicas, incluyendo las ciencias naturales y sociales, ya que proporciona una estructura para formular preguntas, diseñar experimentos, recolectar datos y analizar resultados.

2.4. Materiales

2.4.1. Ambientes a utilizar

- Laboratorio de operaciones unitarias U.AJ.M.S.
- Laboratorio de la planta de aguas residuales del barrio San Luis.

2.4.2. Materiales biológicos

- Almidón de papa
- Almidón de yuca

- Semillas de moringa
- Semillas de ajipa

2.4.3. Equipos

- Balanza
- Molino
- Equipo de prueba de jarras

2.4.4 Otros

- Papel filtro
- Agua destilada
- Botellas de 2 l
- Balde

2.5. Métodos

2.5.1. Primer Objetivo

- **Preparación del polvo de semilla moringa oleífera**

Las vainas serán cosechadas manualmente, y las semillas extraídas se someterán a un cuidadoso proceso de preparación. Inicialmente, las semillas se pelarán para eliminar la cáscara exterior, seguido de un macerado minucioso para facilitar la trituration. Una vez trituradas, se colocará el material resultante sobre una superficie limpia, donde se procederá a retirar manualmente cualquier resto de cáscara o partículas no deseadas, garantizando así la pureza del producto. Finalmente, el material se secará al sol durante dos días, en condiciones controladas para prevenir la proliferación de microorganismos y evitar la contaminación con partículas externas, asegurando así la obtención de un polvo de semilla de alta calidad, listo para su uso en el proceso de floculación.

- **Extracción de harina de cascara de papa**

Tras la recolección de 500 g. de cáscaras de papa, se procederá a su lavado minucioso con agua potable para eliminar residuos superficiales, seguido de una desinfección

con una solución adecuada para asegurar la eliminación de microorganismos. Luego, las cáscaras serán secadas en una estufa a 105 °C, una temperatura que garantiza la evaporación completa de la humedad sin alterar las propiedades estructurales del material. Una vez secas, las muestras se triturarán utilizando un molidor manual, complementada con el uso de morteros para obtener una textura más fina y homogénea. El material triturado se someterá a un cernido mediante un tamiz N° 60 (con una apertura de 0,250 mm), lo que permitirá obtener partículas uniformes y adecuadas para el uso como floculante, asegurando una mayor eficiencia en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

- **Obtención de almidón de yuca**

La obtención de almidón de yuca inicia con la recolección de raíces frescas, que se lavan minuciosamente para eliminar residuos y se pelan para retirar la cáscara y partes fibrosas. Las raíces peladas se rallan o trituran, liberando el almidón al romper las células de la yuca. La pulpa resultante se mezcla con agua y se agita vigorosamente, permitiendo que el almidón se suspenda en el líquido. Posteriormente, la mezcla se filtra para separar las fibras gruesas, y el líquido se deja reposar para que el almidón se sedimente por decantación. El almidón sedimentado se lava repetidamente para eliminar impurezas y se seca al sol o en una estufa a baja temperatura hasta eliminar la humedad. Finalmente, el producto seco se tamiza para obtener un polvo fino y uniforme, listo para ser utilizado como floculante natural en el tratamiento de aguas residuales.

- **Preparación del polvo de semillas de ajipa**

Recolectar semillas de ajipa maduras y sanas. Es importante seleccionar semillas que no estén dañadas o contaminadas. Lavar las semillas con agua limpia para eliminar cualquier impureza, tierra o residuos. Este paso es crucial para asegurar la calidad del polvo final.

Secar las semillas al aire libre o en un horno a baja temperatura (aproximadamente 40-50 °C) hasta que estén completamente secas. Este proceso puede tardar varias

horas y es importante asegurarse de que no queden restos de humedad, ya que esto podría afectar la conservación del polvo.

Después de este proceso realizaremos la molienda de las semillas en el laboratorio de operaciones unitarias de universidad autónoma juan Misael Saracho, utilizando un molino de martillos.

- **Recolección de muestra de agua residual de la laguna de oxidación N°2 de la planta de tratamiento del barrio San Luis**

Muestreo Simple: Se toma una muestra en un solo punto y momento.

- **Procedimiento de Toma de Muestra**

Identificación del Punto de Muestreo: Seleccionar un lugar representativo, como la entrada o salida de una planta de tratamiento, evitando zonas con estancamiento.

Purga del Recipiente: Antes de tomar la muestra, purgar el recipiente con el efluente que se va a analizar (2-3 veces el volumen del recipiente) para minimizar la contaminación.

Recolección:

Para muestreo manual, colocar el recipiente bajo el flujo del efluente asegurándose de que esté completamente lleno.

Volumen Mínimo: Generalmente, se recomienda un volumen mínimo de 500 ml para análisis adecuados.

Registro de Datos: Documentar toda la información relevante en el momento de la recolección, incluyendo observaciones sobre el estado del efluente y las condiciones ambientales.

Para la toma de muestra se identificó la salida del agua residual de la planta de tratamiento del barrio San Luis, y con la ayuda de un recipiente de plástico se recogió la muestra para ser inmediatamente pasado a botellas de 2 litros totalmente estériles para de ahí dirigirnos al laboratorio de la planta donde se realizan las pruebas de jarras.

- **Tratamiento del agua (simulación de prueba de jarras “JAR-TEST”).**

Este procedimiento se realiza utilizando un agitador de paleta y una muestra de agua turbia residual de 1/. en vasos de precipitados de su misma capacidad. Se procede a activar el agitador y operarlo durante 1m. a una velocidad de 100 rpm (revoluciones por minuto), en este lapso de tiempo se agregará los coagulantes vegetales orgánicos, este lapso las partículas inmersas en el agua entran en un proceso de desestabilización. Posteriormente se baja la velocidad para un mezclado lento por 15 m. a 40 rpm con la finalidad de facilitar el choque lento de unas partículas con otras para la coagulación y floculación de las ya macropartículas, una vez que transcurre el periodo de agitación se levantan las paletas y se dejan sedimentar por 30 m.

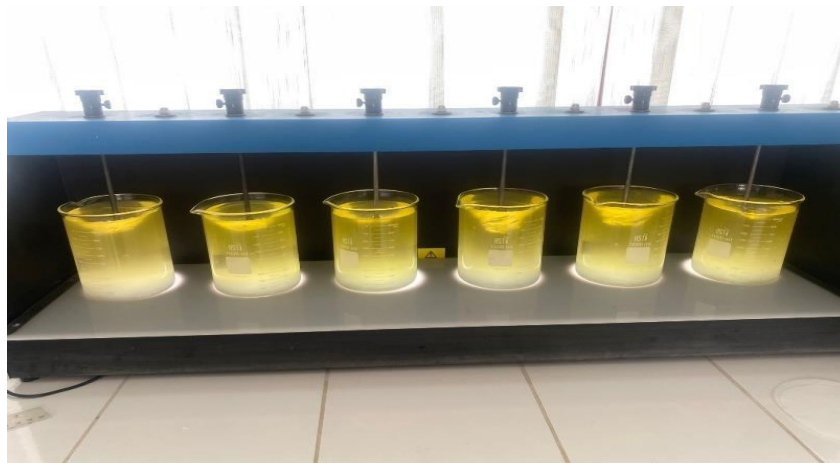


FIGURA 2 FOTOGRAFIA DEL EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS

Fuente: Registro fotográfico de laboratorio

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS

3.1. Recolectar y acondicionar la materia prima para la implementación de los floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales de la laguna de oxidación N°2 del Barrio San Luis: Semillas de moringa, Almidón de yuca, Almidón de papa, Semilla de ajipa.

3.1.1. Recolección y acondicionamiento de floculantes naturales.

A continuación, se describe el procedimiento para la obtención de floculantes naturales, especificando los materiales utilizados y los pasos seguidos en el acondicionamiento de cada uno:

3.1.1.1. Polvo de semillas de moringa

La preparación del polvo de semillas de moringa comenzó con la adquisición de las semillas en el mercado campesino de la ciudad de Tarija, con un costo de 50 Bs/Kg. Posteriormente, se llevó a cabo el siguiente proceso:

- **Descascarillado:** Las semillas fueron despojadas de su cáscara exterior con el uso de un cuchillo, procurando no dañar la almendra interna.
- **Molienda:** Las semillas descascarilladas fueron trituradas utilizando el molino de bolas del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS). Este proceso garantiza una reducción homogénea del tamaño de las partículas.
- **Tamizado:** El producto obtenido se pasó por un cernidor equipado con un tamiz de 1000 micras, permitiendo la obtención de un polvo de granulometría uniforme y adecuado para su uso como floculante.

3.1.1.2. Almidón de papa

El almidón de papa se obtiene directamente mediante la compra en el mercado campesino de la ciudad de Tarija. Este producto se seleccionó cuidadosamente para garantizar su pureza y calidad.

Posterior a la compra, el almidón de papa fue llevado al laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se realizó un proceso de cernido utilizando un tamiz de 1000 micras, con el objetivo de eliminar cualquier partícula que excediera el tamaño requerido.

3.1.1.3. Almidón de yuca

De manera similar al almidón de papa, el almidón de yuca fue adquirido en el mercado campesino de la ciudad de Tarija. La selección estuvo orientada a obtener un producto limpio y sin impurezas.

Después de la compra, el almidón de papa fue llevado al laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se sometió a un proceso de cernido con un tamiz de 1000 micras, con el fin de eliminar las partículas que superaran el tamaño establecido.

3.1.1.4. Polvo de semillas de ajipa

Para la elaboración del polvo de semillas de ajipa, se realizó la compra inicial de las semillas en el mercado campesino de la ciudad de Tarija. Luego, se siguió el siguiente procedimiento:

- **Descascarillado:** Se elimina la cáscara exterior de las semillas con la ayuda de un cuchillo, asegurando la conservación de su contenido interno.
- **Molienda:** Las semillas fueron procesadas en el molino de martillos del laboratorio de Operaciones Unitarias de la UAJMS, logrando una molienda eficiente y uniforme.
- **Tamizado:** El material molido fue tamizado con un cernidor equipado con un tamiz de 1000 micras, obteniéndose un polvo homogéneo y de granulación controlada.

3.1.2. Importancia del acondicionamiento

Cada uno de los procesos de acondicionamiento, desde el descascarillado hasta el tamizado, fue llevado a cabo bajo condiciones controladas, utilizando equipos

adecuados para garantizar la calidad y uniformidad de los floculantes obtenidos. Este rigor en el manejo asegura la efectividad de los floculantes naturales en aplicaciones prácticas.

3.2. Realizar análisis físico químico de sólidos en suspensión, turbiedad, pH, sólidos disueltos del agua residual cruda y del agua residual floculada.

3.2.1. Resultados de agua residual sin flocular:

TABLA 1. RESULTADOS DE AGUA RESIDUAL SIN FLOCULAR

Parámetro	Valor	Valor de la normativa
pH	7.43	6-9
Turbiedad	52.5 NTU	5 NTU
Sólidos suspendidos	162 mg/l	80 mg/l
Sólidos disueltos	398 mg/l	2000 mg/l

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1. Resultados para pH:

Los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos del agua residual sin flocular muestran un pH de 7,43, lo que indica que el agua es ligeramente alcalina (básica). Este pH es favorable para el tratamiento del agua con los floculantes naturales seleccionados, ya que, según investigaciones previas, estos floculantes suelen mostrar una buena reacción en condiciones con valores de pH similares.

3.2.1.2. Resultados para turbiedad:

Los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos del agua residual sin flocular muestran una turbiedad de 52,5 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) lo cual indica que el agua presenta una cantidad significativa de partículas suspendidas, lo que afecta su claridad. Este valor es relativamente alto, lo que sugiere que el agua podría estar contaminada con sólidos, materia orgánica o microorganismos.

3.2.1.3. Resultados para sólidos suspendidos

Los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos del agua residual sin flocular muestran una concentración de sólidos suspendidos de 162 mg/l. Esto indica que, por cada litro de agua, existen 162 mg de partículas sólidas suspendidas que no se disuelven. Estas partículas pueden incluir sedimentos, materia orgánica, bacterias, algas y otros contaminantes.

3.2.1.4. Resultados para sólidos disueltos:

Los resultados obtenidos en el análisis físico-químico del agua residual sin flocular muestran una concentración de 398 mg/l, lo que indica que, en cada litro de agua, existen 398 mg de sustancias disueltas que no son visibles a simple vista. Estos sólidos disueltos pueden incluir sales, minerales, metales pesados, nutrientes y compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que se encuentran completamente disueltos en el agua.

3.2.2. Resultados del agua residual floculada con polvo de semillas de moringa olifeira

TABLA 2. RESULTADOS DEL AGUA RESIDUAL FLOCULADA CON POLVO DE SEMILLAS DE MORINGA OLIFEIRA

Parámetro	Valor	Valor de la normativa
pH	7.19	6-9
Turbiedad	1.77 NTU	5 NTU
Sólidos suspendidos	11 mg/l	80 mg/l
Sólidos disueltos	120 mg/l	2000 mg/l

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.1. Resultados para el pH:

Después del tratamiento de floculación con polvo de *Moringa oleifera*, el pH obtenido fue de 7,19, lo que indica que el agua continúa siendo ligeramente alcalina.

Esto sugiere que el proceso de tratamiento no alteró de manera significativa la acidez o alcalinidad del agua.

3.2.2.2. Resultados para la turbiedad:

Mediante el análisis físico-químico del agua floculada con polvo de *Moringa oleifera*, se obtuvo un valor de turbidez de 1,77 NTU. Este resultado evidencia que el tratamiento con floculantes naturales fue altamente eficaz en la clarificación del agua, mejorando notablemente su calidad visual y reduciendo la concentración de sólidos suspendidos responsables de la turbidez.

3.2.2.3. Resultado para solidos suspendidos:

Los resultados obtenidos en el análisis físico-químico para el parámetro de sólidos suspendidos mostraron una concentración de 11 mg/l, lo que indica que el tratamiento fue altamente efectivo en la reducción de la concentración de partículas suspendidas en el agua.

3.2.2.4. Resultados para solidos disueltos:

Los resultados obtenidos en el análisis físico-químico para los sólidos disueltos después de la floculación indicaron una concentración de 120 mg/l, lo que sugiere que el tratamiento con floculantes naturales ha logrado una reducción en la cantidad de sustancias disueltas en el agua, aunque aún persisten ciertos compuestos.

3.2.3. Resultados del agua residual floculada con almidón de papa

TABLA 3. RESULTADOS DEL AGUA RESIDUAL FLOCULADA CON ALMIDÓN DE PAPA

Parámetro	Valor	Valor de la normativa
pH	7.03	6-9
Turbiedad	2.11 NTU	5 NTU
Solidos suspendidos	15 mg/l	80 mg/l
Solidos disueltos	159 mg/l	2000 mg/l

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.1. Resultado para pH:

Los resultados del análisis físico-químico del agua floculada con almidón de papa arrojaron un pH de 7,03. Este valor indica que el proceso de floculación no modificó de manera significativa la acidez o alcalinidad del agua, manteniéndola en un rango cercano a la neutralidad. Esto es beneficioso para la calidad del agua tratada, ya que un pH cercano a 7 suele ser ideal para diversos usos y representa un equilibrio químico estable.

3.2.3.2. Resultado para turbiedad:

Los resultados del análisis físico-químico del agua floculada con almidón de papa para el parámetro de turbidez arrojaron un valor de 2,11 NTU lo que indica una mejora significativa en la calidad del agua.

3.2.3.3. Resultado para sólidos suspendidos:

Los resultados del análisis físico-químico para el parámetro de sólidos suspendidos arrojaron una concentración de 15 mg/l, lo que evidencia la eficacia del tratamiento de floculación en la reducción de partículas suspendidas. Este resultado refleja una disminución significativa en comparación con el agua residual no tratada, mejorando notablemente la calidad del agua.

3.2.3.4. Resultados para sólidos disueltos:

Los resultados del análisis físico-químico para los sólidos disueltos después de la floculación mostraron una concentración de 159 mg/l, lo que evidencia una reducción notable en la cantidad de sustancias disueltas respecto a los valores iniciales.

3.2.4. Resultados del agua residual floculada con almidón de yuca

TABLA 4. RESULTADOS DEL AGUA RESIDUAL FLOCULADA CON ALMIDÓN DE YUCA

Parámetro	Valor	Valor de la normativa
pH	7,09	6-9
Turbiedad	3,44 NTU	5 NTU
Sólidos suspendidos	21 mg/l	80 mg/l

Sólidos disueltos	281 mg/l	2000 mg/l
--------------------------	----------	-----------

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.1. Resultado para pH:

Los resultados del agua floculada con almidón de yuca para el pH dieron un valor de 7.09 lo que indica que el agua se mantiene ligeramente alcalina y cercana a la neutralidad. Este resultado sugiere que el tratamiento de floculación no alteró significativamente el equilibrio ácido-base, lo cual es favorable para la estabilidad y calidad del agua tratada.

3.2.4.2. Resultados para turbiedad:

Los resultados del análisis físico-químico del agua floculada con almidón de yuca revelaron una turbidez de 3,44 NTU, lo que demuestra una reducción significativa en la concentración de partículas suspendidas. Este resultado confirma la eficacia del almidón de yuca en la clarificación del agua, mejorando notablemente su calidad visual.

3.2.4.3. Resultados para sólidos suspendidos:

Los resultados del análisis físico-químico para el parámetro de sólidos suspendidos mostraron una concentración de 21 mg/l, lo que evidencia una reducción considerable de las partículas suspendidas en el agua después del proceso de floculación.

3.2.4.4. Resultados para sólidos disueltos:

Los resultados del análisis físico-químico para los sólidos disueltos después de la floculación indicaron una concentración de 281 mg/l, lo que sugiere una reducción en comparación con los valores iniciales, aunque los sólidos disueltos siguen presentes en cantidades significativas después del tratamiento de floculación.

3.2.5. Resultados del agua floculada con polvo de semillas de ajipa

TABLA 5. RESULTADOS DEL AGUA FLOCULADA CON POLVO DE SEMILLAS DE AJIPA

Parámetro	Valor	Valor de la normativa
------------------	--------------	------------------------------

pH	7.03	6-9
Turbiedad	10 NTU	5 NTU
Sólidos suspendidos	26 mg/l	80 mg/l
Sólidos disueltos	278 mg/l	2000 mg/l

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.1. Resultados para el pH:

Los resultados del análisis físico-químico del agua floculada con semillas de ajipa para el parámetro de pH arrojaron un valor de 7,03, lo que indica que el tratamiento no alteró significativamente la acidez o alcalinidad del agua, manteniéndola en un rango cercano al neutro.

3.2.5.2. Resultados para la turbiedad:

Los resultados del análisis físico-químico del agua floculada con polvo de semillas de ajipa revelaron una turbidez de 10 NTU, lo que representa una reducción significativa en comparación con el valor inicial de 52,5 NTU.

3.2.5.3. Resultados para sólidos suspendidos:

Los resultados del análisis físico-químico para el parámetro de sólidos suspendidos mostraron una concentración de 26 mg/l, lo que indica una reducción significativa de las partículas suspendidas en el agua después del proceso de floculación.

3.2.5.4. Resultados para sólidos disueltos:

Los resultados del análisis físico-químico para los sólidos disueltos después de la floculación indicaron una concentración de 278 mg/l, lo que sugiere que el tratamiento fue efectivo en la reducción de las sustancias disueltas en comparación con el valor inicial. Sin embargo, la concentración sigue siendo relativamente alta.

3.3. Realizar un análisis de los resultados de laboratorio para determinar las cantidades adecuadas de los floculantes naturales en la eliminación de partículas coloidales de las aguas residuales.

3.3.1. Proyección de datos

3.3.1.1. Volumen de la laguna

Las dimensiones aproximadas de la laguna son:

Largo: 210,5 m

Ancho: 142,5 m

Profundidad: 4,0 m

Volumen: $210,5\text{m} * 142,5\text{ m} * 4,0\text{ m}$

Volumen: $119.985\text{ m}^3 * 1000\text{ l/m}^3 = 119.985.000\text{ l}$

3.3.1.2. Proyeccion para el polvo de semillas de moringa olifeira:

Para las pruebas de jarras de 1/ de agua residual se utilizó 30 mg de polvo de moringa olifeira

30mg_____1 /

X_____119.985.000 /

$X = 30 * 119.985.000 / 1 = 3.599.550.000\text{ mg}$

$3.599.550.000\text{ mg} * 1\text{kg} / 1000000\text{mg} = 3.599,55\text{ kg}$

Este resultado indica que, para tratar el volumen total de la laguna, se requerirían aproximadamente 3599,55 kg de polvo de Moringa oleifera.

3.3.1.3. Proyección para el almidón de papa:

Para la prueba de jarras de 1 / de agua residual se utilizó 12 mg de almidón de papa

12mg_____1 /

$$X \frac{119.985.000}{1}$$

$$X = 12 * 119.985.000 / 1 = 1.439.820.000 \text{ mg}$$

$$1.439.820.000 \text{ mg} * 1 \text{ kg} / 1000000 \text{ mg} = 1.439,82 \text{ kg}$$

Este resultado indica que, para tratar el volumen total de la laguna, se requerirían aproximadamente 1.439,82 kg de almidón de papa.

3.3.1.4. Proyección para el almidón de yuca:

Para las pruebas de jarras de 1 / de agua residual se utilizo 30 mg de almidón de yuca.

$$30 \text{ mg} \frac{1}{1}$$

$$X \frac{119.985.000}{1}$$

$$X = 30 * 119.985.000 / 1 = 3.599.550.000 \text{ mg}$$

$$3.599.550.000 \text{ mg} * 1 \text{ kg} / 1000000 \text{ mg} = 3.599,55 \text{ kg}$$

Este resultado indica que, para tratar el volumen total de la laguna, se requerirían aproximadamente 3599,55 kg de almidón de yuca.

3.3.1.5. Proyección para el polvo de semillas de ajipa:

Para las pruebas de jarras de 1 / de agua residual se utilizo 30 mg de polvo de semillas de ajipa.

$$30 \text{ mg} \frac{1}{1}$$

$$X \frac{119.985.000}{1}$$

$$X = 30 * 119.985.000 / 1 = 3.599.550.000 \text{ mg}$$

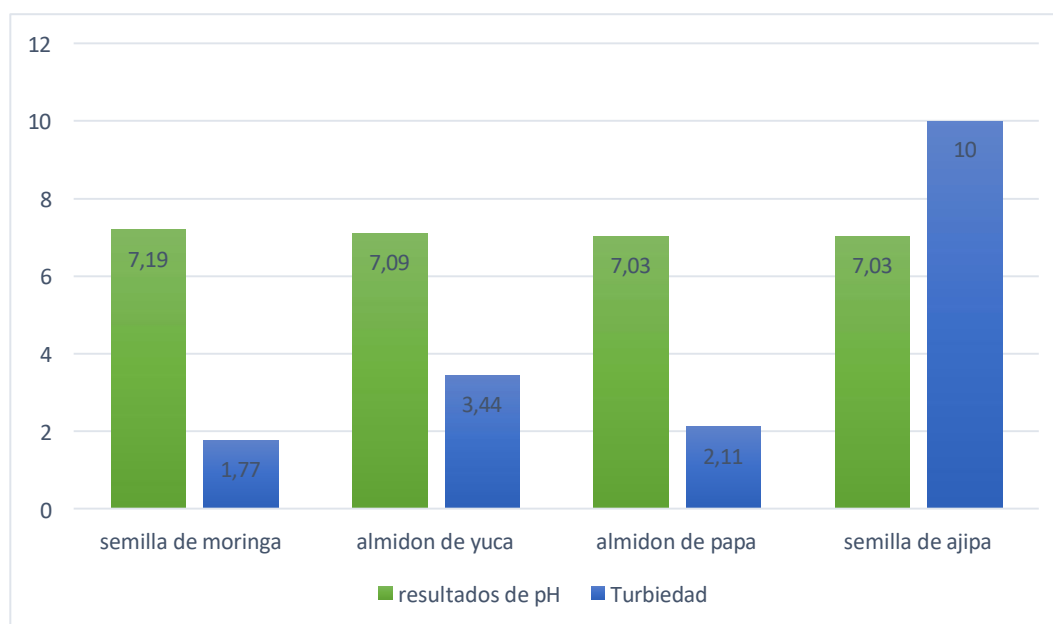
$$3.599.550.000 \text{ mg} * 1\text{kg} / 1000000\text{mg} = 3.599,55 \text{ kg}$$

Este resultado indica que, para tratar el volumen total de la laguna, se requerirían aproximadamente 3599,55 kg de polvo de semilla de ajipa.

3.4. Comparación de resultados

3.4.1. Comparación de resultados obtenidos para los parámetros de pH y Turbiedad

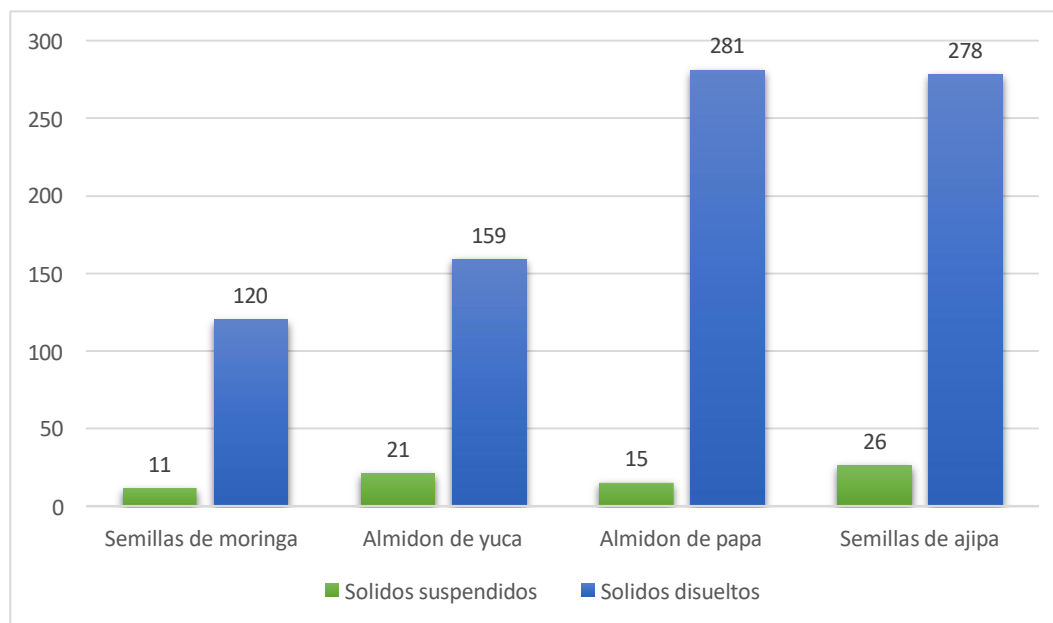
CUADRO 1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS PARÁMETROS DE pH Y TURBIEDAD



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Comparación de resultados obtenidos para los parámetros de sólidos suspendidos y sólidos disueltos

CUADRO 2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA LOS PARÁMETROS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y SÓLIDOS DISUELTOS



Fuente: Elaboración propia

3.5. Discusiones:

3.5.1. Eficiencia en la Reducción de Turbidez

3.5.2. Fórmula para la eficiencia de remoción de turbidez del polvo de semilla de moringa olifeira

$$\text{Eficiencia}(\%) = \left(\frac{Ci - Cf}{Ci} \right) \times 100$$

$$\text{Eficiencia}(\%) = \left(\frac{52,5 - 1,77}{52,5} \right) \times 100 = 97\%$$

3.5.3. Fórmula para la eficiencia de remocion de turbidez del almidón de papa

$$\text{Eficiencia}(\%) = \left(\frac{52,5 - 2,11}{52,5} \right) \times 100 = 96\%$$

3.5.4. Fórmula para la eficiencia de remoción de turbidez del almidón de yuca

$$\text{Eficiencia(\%)} = \left(\frac{52,5-3,44}{52,5} \right) \times 100 = 93\%$$

3.5.5. Fórmula para la eficiencia de remoción de turbidez de las semillas de ajipa

$$\text{Eficiencia(\%)} = \left(\frac{52,5-10}{52,5} \right) \times 100 = 81\%$$

Los resultados muestran que el uso de floculantes naturales redujo significativamente la turbidez del agua residual, pasando de un valor inicial de 52,5 NTU a 1,77 NTU con moringa, 2,11 NTU con almidón de papa y 3,44 NTU con almidón de yuca. Estos valores demuestran la eficacia de los floculantes naturales, respaldando investigaciones previas que destacan el potencial de estos materiales en la clarificación de aguas.

Sin embargo, con el polvo de semillas de ajipa se obtuvo resultados menos favorables bajando la turbiedad de 52,5 NTU a un valor final de 10 NTU esto puede deberse tal vez a la falta de antecedentes para este floculante.

Comparación con estudios previos: Investigaciones como las de (Picón, 2019) han demostrado que los floculantes naturales, especialmente la moringa, son capaces de reducir la turbidez a niveles inferiores a 5 NTU, lo que coincide con los resultados obtenidos.

Interpretación: La capacidad de adsorción de las partículas suspendidas podría deberse a la presencia de proteínas catiónicas en la moringa y al alto contenido de almidón en la papa y la yuca, que favorecen la aglomeración de sólidos.

3.5.6. Efecto en el pH del Agua

Los valores de pH antes y después de la floculación permanecieron cercanos a la neutralidad, con ligeras variaciones, como 7.43 inicial a 7.03 tras el tratamiento con almidón de yuca. Esto indica que los floculantes naturales no afectan significativamente la acidez o alcalinidad del agua.

- **Ventaja sobre floculantes químicos:** A diferencia de los coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio, que pueden alterar el pH, los floculantes naturales no requieren ajustes posteriores, lo que simplifica el tratamiento.
- **Implicaciones para aplicaciones prácticas:** La estabilidad del pH reduce la necesidad de productos químicos adicionales y minimiza el impacto ambiental.

3.5.7. Reducción de Sólidos Suspendidos

Los sólidos suspendidos se redujeron de 162 mg/ l a 11 mg/ l con moringa, 15 mg/ l con almidón de papa y 21 mg/ l con almidón de yuca. Esto representa una disminución significativa y evidencia la efectividad del proceso de floculación.

- **Impacto ambiental y normativas:** Estos resultados se alinean con los límites establecidos por normativas de calidad de agua potable o efluentes industriales, lo que indica que los floculantes naturales podrían ser utilizados en sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- **Análisis adicional:** La reducción observada sugiere una alta eficiencia en la captura de partículas finas, lo que es crucial para evitar la sedimentación y mejorar la calidad visual del agua.

3.5.8. Reducción de sólidos disueltos

Los sólidos disueltos disminuyeron de 398 mg/ l inicial a 159 mg/ l con almidón de papa, lo que refleja una disminución moderada pero efectiva.

- **Análisis comparativo:** Aunque los floculantes naturales son más eficaces en la eliminación de sólidos suspendidos que disueltos, esta reducción sugiere que ciertas partículas disueltas, como minerales o compuestos orgánicos, también fueron removidas en cierta medida.
- **Limitaciones observadas:** La reducción no fue tan drástica como en los sólidos suspendidos, lo que indica que el uso de floculantes naturales podría complementarse con otros tratamientos para reducir sólidos disueltos de manera más efectiva.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES

4.1. Recolecta y Acondicionamiento de los Floculantes Naturales

El proceso de preparación de los floculantes naturales (polvo de semillas de moringa, almidón de papa, almidón de yuca y polvo de semillas de ajipa) fue realizado con rigurosidad, garantizando que cada material fuera tratado de manera adecuada para obtener un producto homogéneo y de calidad. La recolección y acondicionamiento de estos materiales, mediante los procesos de descascarillado, molienda y tamizado, asegura que las propiedades floculantes sean consistentes y efectivas en su uso posterior en la floculación de aguas residuales.

4.2. Análisis Físico-Químico de Agua Residual

El análisis físico-químico de las aguas residuales, tanto antes como después de la floculación, permitió obtener resultados clave para evaluar la eficiencia del tratamiento. Los parámetros medidos incluyen pH, turbiedad, sólidos suspendidos y sólidos disueltos, los cuales son indicadores esenciales de la calidad del agua.

4.3. pH:

El pH de las aguas residuales antes y después del tratamiento se mantiene dentro de un rango cercano a la neutralidad, con variaciones mínimas que no afectan de manera significativa la calidad del agua. Esto sugiere que el uso de floculantes naturales no altera el equilibrio ácido-base del agua, lo que representa una ventaja sobre los floculantes químicos tradicionales que pueden requerir ajustes adicionales en el pH del agua.

4.4. Turbiedad:

La reducción de la turbidez fue una de las mejoras más destacadas en todos los tratamientos. Con el uso de polvo de semillas de moringa, se logró reducir la turbidez en un 97% de 52,5 NTU a 1,77 NT. El almidón de papa también mostró buenos resultados, reduciendo la turbidez a 2,11 NTU. El almidón de yuca y las semillas de ajipa, aunque más eficientes que el agua no tratada, presentaron resultados algo menos favorables (3,44 NTU y 10 NTU respectivamente). La moringa se destacó

como el floculante más efectivo en la reducción de turbidez, alineándose con estudios previos que indican la alta eficiencia de esta planta en la clarificación de agua.

4.5. Sólidos Suspendidos:

Todos los floculantes naturales lograron reducir significativamente la concentración de sólidos suspendidos. El polvo de moringa fue el más efectivo, disminuyendo los sólidos suspendidos de 162 mg/l a 11 mg/l, seguido por el almidón de papa (15 mg/l) y el almidón de yuca (21 mg/l). Estos resultados sugieren que los floculantes naturales tienen un alto poder para aglomerar y eliminar partículas finas, lo cual es crucial para mejorar la calidad visual del agua y cumplir con las normativas ambientales.

4.6. Sólidos Disueltos:

En cuanto a los sólidos disueltos, los floculantes naturales también demostraron una efectividad significativa, aunque la reducción fue más moderada en comparación con los sólidos suspendidos. El almidón de papa redujo los sólidos disueltos de 398 mg/l a 159 mg/l, mientras que el almidón de yuca (281 mg/l) y el polvo de semillas de ajipa (278 mg/l) lograron una reducción menos drástica. Este resultado indica que, aunque los floculantes naturales son más eficaces en la eliminación de sólidos suspendidos, también tienen cierta capacidad para eliminar partículas disueltas, lo cual es positivo pero podría no ser suficiente para cumplir con estándares estrictos de calidad de agua sin un tratamiento complementario.

4.7. Proyección de Datos y Cantidades Necesarias de Floculantes Naturales

La proyección del volumen de floculantes necesarios para tratar el total de la laguna (119,985,000 l) fue realizada con base en las cantidades usadas en las pruebas de jarras. Los cálculos revelan que para tratar la laguna se necesitarían aproximadamente:

- 3599,55 kg de polvo de moringa
- 1439.82 kg de almidón de papa

- 3599.55 kg de almidón de yuca
- 3599.55 kg de polvo de semillas de ajipa

Estas proyecciones son útiles para dimensionar la cantidad de floculante necesaria en un proceso de tratamiento a gran escala, lo que es esencial para la planificación y optimización del uso de recursos.

4.8. Análisis de los resultados de laboratorio

Aunque todos los floculantes naturales demostraron cierto grado de efectividad, aquellos con componentes activos cargados positivamente, como las proteínas presentes en las semillas de Moringa, lograron un desempeño superior en la neutralización de cargas coloidales. En contraste, las semillas de ajipa mostraron resultados menos favorables.

5. RECOMENDACIONES

- Continuar con la investigación de los floculantes naturales para la eliminación de partículas coloidales en las aguas residuales urbanas de la laguna de oxidación n°2 del barrio san Luis, de la provincia cercado del departamento de Tarija, utilizando como auxiliar de coagulación y así lograr remover una mayor cantidad de sólidos.
- Estudiar la eficiencia de las semillas de moringa, almidón de papa, almidón de yuca y la semilla de ajipa como coagulante natural en fuentes de agua cuyos valores de turbiedad no sean tan elevados.
- Dar continuidad a futuras investigaciones enfocadas en la búsqueda de nuevos productos naturales con propiedad coagulantes para dar más alternativas a la hora de elegir un coagulante en tratamiento de agua potable.
- Se recomienda optimizar la dosificación de floculantes naturales para determinar la cantidad más eficiente y reducir el consumo de materiales. Además, es importante complementar el tratamiento con métodos adicionales, como la filtración, para mejorar la eliminación de sólidos disueltos, ya que los

floculantes naturales muestran mayor eficacia en la remoción de sólidos suspendidos.

- Se sugiere también mejorar el tratamiento con semillas de ajipa mediante ajustes en la molienda y el tamizado, y considerar la combinación de floculantes para maximizar los resultados.
- La recuperación y reutilización de floculantes debe ser investigada para aumentar la sostenibilidad del proceso, y se recomienda realizar monitoreos periódicos de la calidad del agua tratada a largo plazo. A nivel práctico, es clave realizar pruebas a gran escala en la laguna de oxidación, evaluar el costo-beneficio frente a tratamientos convencionales y promover la capacitación técnica de las comunidades locales.

Finalmente, se debe fomentar la investigación multidisciplinaria y la colaboración con comunidades rurales para seguir mejorando la eficiencia de los floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales.