

Tratamiento de Aguas Residuales con Coagulantes y Floculantes naturales

Kerwint Francisco Álvarez Prada
Estudiante

PhD Julio Isaac Maldonado Maldonado

15 junio de 2023

Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Civil
Universidad de Pamplona Norte de Santander

Introducción

El tratamiento de las aguas residuales es un paso fundamental para garantizar la protección de la salud pública, preservar el medio ambiente y mantener el equilibrio del ecosistema acuático. Con el crecimiento de la población mundial y el aumento de la actividad humana, se genera una mayor cantidad de aguas residuales que requieren un tratamiento adecuado. (THE DECLARATION, 2021)

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales consiste en eliminar cualquier sustancia contaminante presente en ellas antes de su liberación al medio ambiente o su reutilización. Estas aguas residuales contienen diversos elementos perjudiciales como materia orgánica, nutrientes, metales pesados, productos químicos tóxicos, patógenos y otras sustancias dañinas. Si no se tratan de manera adecuada, estas aguas residuales pueden tener efectos negativos graves tanto para el medio ambiente como para la salud humana. (JENNY MERCEDES ALFARO MELGAR et al., 2012)

La falta de tratamiento de las aguas residuales conlleva problemas, especialmente la contaminación de cuerpos de agua como ríos, lagos y océanos. Cuando las aguas residuales sin tratar se vierten directamente en estos cuerpos de agua, los contaminantes presentes en ellas pueden causar eutrofización, un exceso de nutrientes en el agua que favorece la proliferación de algas y otras plantas acuáticas. Esto agota el oxígeno disuelto en el agua y tiene un impacto negativo en la flora y fauna acuáticas.

Además de la contaminación de los cuerpos de agua, el tratamiento de las aguas residuales es fundamental para prevenir la propagación de enfermedades. Estas aguas pueden contener patógenos como bacterias, virus y parásitos, los cuales representan un riesgo para la salud humana si no se eliminan adecuadamente. El tratamiento incluye procesos de desinfección que ayudan a eliminar o inactivar estos microorganismos, reduciendo así el riesgo de transmisión de enfermedades.

La preservación de los recursos hídricos es otro aspecto importante del tratamiento de las aguas residuales. El agua es un recurso natural escaso y valioso, y un tratamiento adecuado permite su reutilización en diversas actividades, como el riego agrícola, la recarga de acuíferos y el suministro de agua potable. Al reciclar y reutilizar las aguas residuales tratadas, se alivia la presión sobre los recursos hídricos naturales y se fomenta la sostenibilidad en el uso del agua. (Abzazou Souisa, 2016)

En resumen, el tratamiento de las aguas residuales se basa en la necesidad de proteger la salud humana, preservar el medio ambiente y gestionar eficientemente los recursos hídricos. (Herrera Alanis & José Luis, 2002). Es esencial tratar adecuadamente las aguas residuales para eliminar los contaminantes presentes y minimizar los impactos negativos en los ecosistemas acuáticos. Además, promueve la reutilización del agua, lo que contribuye a la sostenibilidad en el uso de este recurso vital.

Tabla de Contenido

1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	6
1.1. COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES	6
1.2. CONCEPTOS CLAVES RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	8
1.3. PROCESOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	10
1.3.1. PRETRATAMIENTO	10
1.3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	14
1.3.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO (BIOLÓGICO)	18
1.3.4. TRATAMIENTO Terciario	21
1.3.5. TRATAMIENTO AVANZADO	25
1.3.6. DESHIDRATACIÓN DE LODOS	25
1.4. PROCESO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	26
1.4.1. COAGULACIÓN:	26
1.4.2. FLOCULACIÓN:	30
1.5. MECANISMOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	34
1.5.1. COAGULANTES NATURALES:	34
1.5.2. FLOCULANTES NATURALES:	38
2. CAPÍTULO 2: RESULTADOS	43
2.1. COAGULANTES NATURALES	43
2.1.1. SEMILLAS DE MORINGA OLEÍFERA	43
2.1.2. SEMILLAS DE NIRMALI (STRYCHNOS POTATORUM)	47
2.1.3. TANINOS	50
2.1.4. CACTUS	54
2.1.5. ALGAS	56
2.1.6. QUITOSANO	59
2.1.7. MATERIA ORGÁNICA NATURAL	62
2.1.8. ALUMBRE DE POTASIO	66
2.1.9. SEMILLAS DE CASSIA FISTULA	71
2.1.10. RESIDUOS DE BIOMASA	74
2.2. FLOCULANTES NATURALES	78
2.2.1. ALMIDÓN	78
2.2.2. POLISACÁRIDOS DE ALGAS	83
2.2.3. GOMA DE GUAR	88

2.2.4.	CELULOSA	94
2.2.5.	QUITOSANO	99
2.2.6.	ARCILLAS NATURALES	104
2.2.7.	ALGAS MICROSCÓPICAS	108
2.2.8.	TANINOS	113
2.2.9.	LIGNINA	117
2.2.10.	EXTRACTO DE PLANTAS	121
2.3.	COAGULANTES CONVENCIONALES	126
2.4.	FLOCULANTES CONVENCIONALES	128
2.5.	EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES	129
2.5.1.	MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LOS COAGULANTES Y FLOCULANTES CONVENCIONALES	129
2.5.2.	COMPARATIVA DE RENDIMIENTO Y COSTO EN LA RELACIÓN CON COAGULANTES Y FLOCULANTES CONVENCIONALES	131
2.5.2.1.	RENDIMIENTO DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN:	131
2.5.2.2.	COSTOS:	132
2.6.	APLICACIONES Y ESTUDIOS EN CASOS	133
2.6.1.	EXPERIENCIAS Y ESTUDIOS QUE HAN UTILIZADO COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	133
2.6.1.1.	ESTUDIO SOBRE LA SEMILLA DE MORINGA:	133
2.6.1.2.	EVALUACIÓN DE LA CASCARA DE PLÁTANO:	134
2.6.1.3.	ESTUDIO COMPARATIVO DE COAGULANTES NATURALES:	134
2.6.1.4.	USO DE ALMIDÓN DE MAÍZ COMO FLOCULANTE:	135
2.6.1.5.	EVALUACIÓN DEL CACTUS OPUNTIA COMO COAGULANTE:	135
2.6.1.	BENEFICIOS AMBIENTALES Y ECONÓMICOS ASOCIADOS AL USO DE COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES	136
2.6.1.1.	BENEFICIOS AMBIENTALES:	136
2.6.1.2.	BENEFICIOS ECONÓMICOS:	137
2.7.	RETOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS	138
2.7.1.	DESAÍOS EN LA IMPLEMENTACIÓN A GRAN ESCALA DE COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES.	138
2.7.2.	INVESTIGACIONES Y AVANCES FUTUROS EN EL CAMPO DE LOS COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES.	141
3.	CONCLUSIONES	145
4.	BIBLIOGRAFÍA	148

1. Capítulo 1: Generalidades

1.1. Coagulantes y Floculantes naturales

Los coagulantes y floculantes naturales son sustancias derivadas de fuentes vegetales y animales que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales para facilitar la eliminación de los contaminantes suspendidos y mejorar la clarificación del agua. Estas sustancias naturales poseen propiedades coagulantes y floculantes que ayudan a aglutinar las partículas presentes en el agua, permitiendo su posterior separación. (Antov et al., 2010; Renault et al., 2009; Yin, 2010)

Los coagulantes naturales se utilizan principalmente en la etapa de coagulación del tratamiento de aguas residuales. Su función principal es neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas presentes en el agua, facilitando así su agregación y formación de flóculos. (PERALTA CHICA JORDAN RICARDO, 2018) Algunos de los coagulantes naturales más utilizados incluyen:

Semilla de Moringa oleífera: Las semillas de esta planta contienen proteínas catiónicas que pueden interactuar con las partículas cargadas negativamente presentes en el agua. Estas proteínas ayudan a unir las partículas y formar flóculos más grandes, facilitando su posterior eliminación. (Antov et al., 2010; Okuda et al., 2001b)

Taninos vegetales: Los taninos son compuestos polifenólicos que se encuentran en diversas plantas, como la corteza de ciertos árboles. (Biolo, 2006) Estos taninos pueden

formar complejos insolubles con las partículas en el agua, favoreciendo su aglomeración y precipitación.

Los floculantes naturales, por otro lado, se utilizan en la etapa de floculación del tratamiento de aguas residuales. Su función es promover la agregación de los flóculos formados durante la coagulación, aumentando su tamaño y facilitando su sedimentación o filtración. Algunos de los floculantes naturales más comunes son:

Polisacáridos: Los polisacáridos naturales, como el almidón, la goma guar y el quitosano, son ampliamente utilizados como floculantes debido a su capacidad de adsorber partículas y formar puentes entre los flóculos, lo que contribuye a su estabilidad y sedimentación. (CCH, n.d.)

Sustancias presentes en plantas: Algunas plantas contienen sustancias naturales, como ciertos polímeros y gomas, que también pueden actuar como floculantes al facilitar la agregación de los flóculos y mejorar su sedimentación.

Los coagulantes y floculantes naturales ofrecen varias ventajas en comparación con los coagulantes y floculantes químicos convencionales. Son biodegradables, lo que minimiza su impacto ambiental, y su uso está en línea con las prácticas de tratamiento de aguas más sostenibles. Además, algunos de estos coagulantes y floculantes naturales, como la semilla de *Moringa oleífera*, también tienen propiedades antibacterianas, lo que contribuye a la desinfección del agua durante el proceso de tratamiento.

En resumen, los coagulantes y floculantes naturales son sustancias derivadas de fuentes vegetales y animales que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales para

facilitar la eliminación de contaminantes y mejorar la clarificación del agua. (Hancoo Quispe et al., 2023) Su uso ofrece beneficios ambientales y sostenibles, y representa una alternativa viable a los coagulantes y floculantes químicos convencionales en el tratamiento de aguas.

1.2. Conceptos claves relacionados con el tratamiento de aguas residuales

- **Aguas residuales:** Son las aguas que resultan de actividades humanas, industriales o comerciales y que contienen una diversidad de agentes contaminantes y materiales sustancias de naturaleza orgánica y sustancias de naturaleza inorgánica. (Laura F. Zarza, n.d.)
- **Tratamiento de aguas residuales:** Es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que se utilizan para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales y así reducir su impacto negativo en el medio ambiente y en la salud pública. (Lander Rodriguez de Jorge, n.d.)
- **Coagulación:** Es el proceso en el tratamiento de aguas residuales en el cual se agrega un coagulante para neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas y formar flóculos. (LMI, n.d.)
- **Floculación:** Es el proceso en el cual se agregan floculantes para promover la agregación y formación de flóculos más grandes a partir de las partículas coaguladas, facilitando su sedimentación o filtración. (Cabrera Bermúdez et al., 2009a)

- **Sedimentación:** Es el proceso mediante el cual los flóculos formados en el tratamiento de aguas residuales se asientan en el fondo de un tanque o clarificador, permitiendo la separación de los sólidos sedimentados del agua. (Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016a)
- **Filtración:** Es un proceso en el que el agua tratada pasa a través de medios filtrantes, como arena, grava o carbón activado, para eliminar las partículas suspendidas y otros contaminantes presentes. (SPENA, 2016)
- **Desinfección:** Es el proceso de eliminación o inactivación de los microorganismos patógenos presentes en el agua, mediante el uso de agentes desinfectantes como el cloro, ozono o radiación ultravioleta. (LENNTECH, n.d.)
- **Tratamiento primario:** Es la etapa inicial del tratamiento de aguas residuales en la que se llevan a cabo procesos físicos, como la sedimentación y la separación de sólidos gruesos y flotantes del agua. (*Tratamiento de Aguas Residuales*, n.d.)
- **Tratamiento secundario:** Es una etapa del tratamiento de aguas residuales en la que se aplican procesos biológicos para la eliminación de la materia orgánica disuelta y suspendida, utilizando microorganismos y bacterias beneficiosas. (*Tratamiento de Aguas Residuales*, n.d.)

- **Tratamiento terciario:** Es la etapa adicional del tratamiento de aguas residuales que se utiliza cuando se requiere una mayor eliminación de contaminantes específicos, como nutrientes o compuestos químicos, mediante procesos avanzados como la filtración de membrana o la desinfección avanzada. (*Tratamiento de Aguas Residuales*, n.d.)

Estos conceptos clave proporcionan una base para comprender el proceso de tratamiento de aguas residuales y la importancia de cada etapa en la eliminación efectiva de contaminantes y la protección del medio ambiente y la salud pública.

1.3. Procesos para tratamiento de aguas residuales

Previo a la aplicación de los procesos de Coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales se debe tener en cuenta unos factores, que deben de aplicarse a continuación nombraremos dichos procesos:

1.3.1. Pretratamiento

El pretratamiento es la primera etapa del tratamiento de aguas residuales y tiene como objetivo eliminar los sólidos grandes y materiales no deseados que puedan obstruir o dañar el equipo de tratamiento posterior. En esta etapa, el agua residual pasa a través de rejillas y tamices para retener los objetos grandes como palos, piedras y otros desechos sólidos.

Por consiguiente, apreciaremos una descripción muy general acerca de los procesos más comunes que se llevan a cabo durante el pretratamiento de aguas residuales:

(AERZEN, n.d.; Guy Sela, 2019)

- **Rejas:** El agua residual pasa a través de rejas o cribas para eliminar los objetos grandes como ramas, palos, plásticos y otros desechos sólidos que puedan obstruir el sistema.
- **Desarenado:** El agua pasa a través de un tanque de desarenado donde los sedimentos y la arena más pesada se asientan y se eliminan.
- **Desengrasado:** Se utiliza un desengrasador para eliminar los aceites y grasas flotantes en el agua residual. Estos se separan mediante la diferencia de densidad y se eliminan del agua.
- **Desbaste:** En esta etapa, se eliminan los sólidos más grandes y pesados mediante el uso de equipos como tamices rotativos o tamices estáticos.
- **Desbaste fino:** Este proceso implica la eliminación de sólidos más pequeños, como arena, partículas finas y otros materiales suspendidos, mediante el uso de sedimentadores o unidades de flotación.
- **Homogeneización:** En algunos casos, se utiliza un tanque de homogeneización para mezclar y uniformar la concentración de los contaminantes en el agua residual.

- **Neutralización:** Si el agua residual tiene un pH extremo (muy ácido o alcalino), puede ser necesario ajustar su pH a un rango más adecuado para los procesos de tratamiento posteriores. Se utilizan sustancias químicas para neutralizar el pH.
- **Desinfección:** En algunos casos, el agua residual puede ser desinfectada para eliminar microorganismos patógenos antes de su descarga o reutilización. La desinfección se puede lograr mediante el uso de cloro, ozono, radiación ultravioleta u otros métodos.

Algunos de los equipos más utilizados para el pretratamiento son las rejillas, tamices, desarenadores, desengrasadores, trituradores cabe destacar que la selección y uso de estos equipos depende de las características específicas del agua residual y de los requisitos del sistema de tratamiento en cada planta, por lo que es recomendable realizar un análisis detallado antes de determinar los equipos más adecuados para el pretratamiento.

- **Rejillas:** Las rejillas son dispositivos que se utilizan para retener los sólidos más grandes presentes en el agua residual, como palos, hojas, plásticos y otros desechos voluminosos. Las rejillas pueden ser de diferentes tipos, como rejillas de barras o rejillas de mallas, y se colocan en la entrada de las plantas de tratamiento de aguas residuales para evitar que los sólidos obstruyan las tuberías y equipos posteriores. (TREVI nv, n.d.)
- **Tamices:** Los tamices son similares a las rejillas y se utilizan para retener sólidos más pequeños que no pueden ser capturados por las rejillas. Los

tamices pueden tener aberturas más finas y están diseñados para retener sólidos de tamaño más reducido, como arena, grava y otros sedimentos. Los tamices se utilizan comúnmente en plantas de tratamiento de aguas residuales para proteger los equipos posteriores, como bombas y equipos de tratamiento.

(TREVI nv, n.d.)

- **Desarenadores:** Los desarenadores se utilizan para eliminar la arena y otros sólidos pesados que se depositan en el fondo del agua residual debido a su diferencia de densidad. Estos equipos emplean la gravedad y el flujo del agua para separar y eliminar los sedimentos más pesados, evitando así que entren en los sistemas de bombeo y tratamiento. (Fibras y Normas de Colombia SAS, 2014)
- **Desengrasadores:** Los desengrasadores se utilizan para eliminar los aceites, grasas y otros materiales flotantes del agua residual. Estos equipos aprovechan las diferencias de densidad entre los contaminantes flotantes y el agua para separarlos. Los desengrasadores pueden utilizar métodos físicos, como la flotación o la skimming (extracción por deslizamiento), para recolectar y eliminar las grasas y aceites presentes en el agua residual. (Maciej Serda et al., 2013)
- **Trituradores:** Los trituradores son equipos utilizados para desmenuzar y triturar los sólidos voluminosos presentes en el agua residual, como trapos, plásticos y otros desechos sólidos. Estos equipos reducen el tamaño de los

sólidos, lo que facilita su transporte y tratamiento posterior. Los trituradores ayudan a evitar obstrucciones en las tuberías y equipos de la planta de tratamiento. (PUMOSTOP, n.d.)

Hay que tener en cuenta que los procesos de pretratamiento pueden variar dependiendo de la planta de tratamiento de aguas residuales y las características específicas del agua residual que se está tratando.

1.3.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario se centra en la eliminación de los sólidos suspendidos y la reducción de la carga orgánica en el agua residual. El agua residual se dirige a sedimentadores primarios, donde los sólidos suspendidos más pesados se asientan en el fondo como lodos primarios, mientras que los aceites y grasas flotan en la superficie y se retiran. El agua clarificada se separa de los lodos primarios y se dirige al siguiente proceso.

A continuación, hablaremos un poco acerca de los procesos que conlleva el tratamiento primario: (AGUATECNICA, 2018; Guy Sela, 2019)

- **Sedimentación:** El agua residual ingresa a los sedimentadores primarios, que son tanques grandes y rectangulares, donde se reduce la velocidad del flujo para permitir que los sólidos suspendidos más pesados se asienten en el fondo. Durante este proceso, los sólidos sedimentables, como arena, partículas

inorgánicas y material orgánico pesado, se hunden formando una capa de lodos primarios en el fondo del tanque.

- **Flotación:** Al mismo tiempo, los aceites, grasas y otros sólidos flotantes presentes en el agua residual tienden a elevarse hacia la superficie debido a su menor densidad. Estos flotantes se eliminan utilizando mecanismos de raspado o sistemas de flotación por aire disuelto, donde se inyecta aire en el agua para formar burbujas que se adhieren a los flotantes y los llevan a la superficie para su recolección.
- **Separación del agua clarificada:** El agua residual clarificada, es decir, el agua que ha sido separada de los sólidos sedimentables y flotantes se recoge en la parte central del sedimentador primario y se dirige al siguiente paso del proceso de tratamiento, que puede ser el tratamiento secundario u otro proceso de tratamiento adicional.
- **Manejo de lodos primarios:** Los lodos primarios acumulados en el fondo del sedimentador primario se extraen y se envían a procesos de tratamiento de lodos para su posterior deshidratación y disposición adecuada.

El tratamiento primario tiene como objetivo principal reducir la carga de sólidos y material orgánico en el agua residual antes de pasar a etapas posteriores de tratamiento. Aunque el tratamiento primario es eficiente para eliminar los sólidos más grandes y pesados, no es capaz de eliminar completamente la materia orgánica disuelta ni los contaminantes más finos y disueltos en el agua.

Algunos de los sistemas o equipos más usados para facilitar o complementar dicho tratamiento son:

- **Sistemas de flotación por aire disuelto (DAF):** Los sistemas de flotación por aire disuelto utilizan la adición de aire comprimido al agua residual para formar pequeñas burbujas que se adhieren a los sólidos suspendidos y los flotantes, permitiendo su separación. Los equipos de DAF incluyen una cámara de flotación donde se genera la flotación y un sistema de recolección para los sólidos flotantes. (Nijhuis, n.d.)
- **Sedimentadores primarios:** Los sedimentadores primarios, también conocidos como clarificadores primarios, son los equipos principales utilizados en el tratamiento primario. Estos tanques grandes y rectangulares permiten la sedimentación de los sólidos suspendidos más pesados presentes en el agua residual. Los sedimentadores pueden tener diferentes diseños, como flujo horizontal o flujo vertical ascendente, y pueden incluir mecanismos de raspado para recolectar los lodos sedimentados. (Elizabeth Tilley et al., 2014)
- **Tanques de igualación:** Los tanques de igualación se utilizan para igualar el flujo de entrada y reducir las fluctuaciones en la carga y la concentración de contaminantes en el agua residual. Estos tanques permiten una distribución uniforme del agua a lo largo del proceso de tratamiento y ayudan a minimizar los impactos de los picos de flujo o la variabilidad en la composición del agua residual. (IQR, 2020)

- **Tanque Séptico:** Los tanques sépticos suelen estar fabricados en materiales duraderos, como concreto, fibra de vidrio o plástico resistente. Consisten en una o varias cámaras conectadas en serie, con una entrada para las aguas residuales y una salida para el efluente tratado. Cuentan con un sistema de baffles o tabiques que ayudan a retener los sólidos y a controlar el flujo de las aguas dentro del tanque. En un tanque séptico, las aguas residuales ingresan al tanque a través de una tubería de entrada y se retienen durante un tiempo determinado, generalmente de 24 a 48 horas. Durante este período, los sólidos más pesados se asientan en el fondo como lodo o lodos activos, mientras que los materiales flotantes, como aceites y grasas, se acumulan en la capa superficial formando una costra. (Orlando D. Gutiérrez Coronado, 2022)
- **Reactor UASB:** consiste en un tanque cilíndrico o prismático que permite el flujo ascendente del agua residual. En la parte inferior del reactor, se encuentra una zona de sedimentación donde los sólidos más pesados se acumulan formando una capa de lodo. Encima de esta zona, se encuentra la manta de lodo granular, donde se lleva a cabo la digestión anaeróbica. En la parte superior, se encuentra un separador de gas-líquido para capturar y eliminar los gases generados durante el proceso. El agua residual se introduce en la parte inferior del reactor y fluye hacia arriba a través de la manta de lodo granular. A medida que el agua residual asciende, los microorganismos presentes en la manta de lodo descomponen la materia orgánica, convirtiéndola en biogás

(principalmente metano y dióxido de carbono) y efluente tratado con menor carga orgánica. (ENGENHARIA, 2019)

Es importante destacar que el tratamiento primario es solo una parte del proceso general de tratamiento de aguas residuales. Para lograr una calidad de agua adecuada y cumplir con los estándares de descarga o reutilización, es necesario combinar el tratamiento primario con otros procesos, como el tratamiento secundario, el tratamiento terciario y procesos avanzados según sea necesario.

1.3.3. Tratamiento secundario (biológico)

El tratamiento secundario utiliza microorganismos para descomponer la materia orgánica disuelta y los sólidos suspendidos restantes en el agua residual. Los procesos más comunes en el tratamiento biológico son los sistemas de lodos activados y los filtros percoladores. En los sistemas de lodos activados, el agua residual se mezcla con una población de microorganismos aerobios que degradan la materia orgánica. En los filtros percoladores, el agua residual se filtra a través de un medio filtrante (como grava) colonizado por microorganismos que degradan los contaminantes. (David Nuevo, 2018a)

A continuación, se enunciarán algunos de los procesos mas comunes que conlleva el tratamiento secundario de aguas residuales: (ACUATECNICA, 2019; CYCLUS, n.d.; David Nuevo, 2018b; *Tratamiento Secundario – TSS Internacional*, n.d.)

- **Proceso de aireación:** En esta etapa, el objetivo es introducir oxígeno en las aguas residuales para promover la actividad bacteriana aeróbica. Se utilizan

dispositivos de aireación como difusores de burbuja fina o agitadores mecánicos para mezclar el aire con las aguas residuales. La presencia de oxígeno favorece el crecimiento de bacterias aeróbicas que descomponen la materia orgánica.

- **Reactores biológicos:** Los reactores biológicos son los componentes clave del tratamiento secundario. Hay diferentes tipos de reactores utilizados, pero los más comunes son los reactores de lodos activados y los filtros percoladores.
- ✓ **Reactores de lodos activados:** En este proceso, las aguas residuales se mezclan con microorganismos (bacterias) en un tanque o canal de aireación. Las bacterias se adhieren a partículas suspendidas en el agua o forman flóculos biológicos llamados “lodos activados”. A medida que las aguas residuales pasan a través del reactor, las bacterias descomponen la materia orgánica, convirtiéndola en productos más estables como dióxido de carbono, agua y nuevos microorganismos. Después de la aireación, los lodos activados pasan a la siguiente etapa.
- ✓ **Filtros percoladores:** En este proceso, el agua residual fluye a través de un medio filtrante (como grava o plástico) en el que se desarrollan las bacterias. A medida que el agua pasa a través del medio filtrante, las bacterias adhieren y descomponen la materia orgánica. La descomposición ocurre tanto en la superficie del medio filtrante como en el interior de los poros, lo que proporciona un área adicional para el crecimiento bacteriano.

- **Sedimentación secundaria:** Después de la fase de reacción biológica, el agua residual tratada pasa a un tanque de sedimentación secundaria o clarificador. Aquí, el flujo de agua se ralentiza y permite que los sólidos suspendidos y los microorganismos formen una capa de lodo en el fondo del tanque. Este lodo se llama “lodo secundario” y puede ser recirculado de vuelta al reactor biológico para mantener una población bacteriana activa.
- **Proceso de recirculación de lodos:** En este paso, una parte del lodo sedimentado se recircula y se devuelve al reactor biológico. Esto se hace para mantener una alta concentración de bacterias en el reactor y asegurar un tratamiento eficiente. La recirculación de lodos también ayuda a estabilizar el proceso biológico y a mantener una buena calidad del tratamiento.
- **Desinfección opcional:** Después del tratamiento secundario, en algunos casos puede ser necesario aplicar una etapa adicional de desinfección para eliminar patógenos y microorganismos remanentes. Los métodos comunes de desinfección incluyen el uso de cloro, dióxido de cloro, ozono o luz ultravioleta. La desinfección ayuda a garantizar que el agua residual tratada cumpla con los estándares de calidad y sea segura para su liberación en el medio ambiente o su reutilización.

Cabe aclarar que la configuración exacta del tratamiento secundario puede variar según la planta de tratamiento de aguas residuales específica y las regulaciones ambientales locales. Los procesos mencionados anteriormente son los más comunes, pero

es posible que se utilicen otros procesos o combinaciones de ellos para lograr los objetivos de tratamiento adecuados en cada caso.

También es importante decir que al iniciar este tratamiento secundario es necesario saber datos como el caudal que esta pasando, dado que en este proceso específico es donde sucede los procesos biológicos y químicos de coagulación y floculación, por ende, para poder realizar la correcta aplicación de dichos coagulantes y floculantes se hace de acuerdo con la cantidad de agua que pasa por allí, es decir, el caudal, dado que su dosis general es gr/lit.

Esta medición se puede realizar mediante una canaleta parsharll, que me permite tener control de medición y manejo del caudal, a su vez que facilita la aplicación del proceso de coagulación y floculación, donde más adelante se les dará mención como tema principal de la presente monografía,

1.3.4. Tratamiento terciario

Tratamiento terciario: El tratamiento terciario se utiliza para eliminar los contaminantes restantes en el agua residual después del tratamiento secundario. Incluye procesos de desinfección y eliminación de nutrientes. La desinfección se realiza para eliminar los microorganismos patógenos y puede implicar el uso de cloro, ozono o radiación ultravioleta. La eliminación de nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, se logra a través de procesos de precipitación química o biológica, como la dosificación de coagulantes o la nitrificación-denitrificación. (Alberto Valdivielso, 2017)

Algunos de los procesos mas comunes a la hora de realizar el tratamiento terciario de aguas residuales son: (Alberto Valdivielso, 2020; BELZONA, n.d.; Telwesa, 2021)

- **Filtración adicional:** El tratamiento terciario generalmente comienza con una etapa de filtración adicional para eliminar partículas finas y sólidos suspendidos restantes en el agua residual tratada. Se utilizan diferentes tipos de filtros, como filtros de arena, filtros de carbón activado o membranas de ultrafiltración, dependiendo de los requisitos específicos y la calidad del agua deseada.
- ✓ **Filtros de arena:** Los filtros de arena consisten en capas de arena y grava que retienen las partículas suspendidas a medida que el agua pasa a través de ellas. Estos filtros son efectivos para eliminar partículas más grandes y mejorar la claridad del agua.
- ✓ **Filtros de carbón activado:** Los filtros de carbón activado utilizan una capa de carbón activado granular o en polvo para adsorber compuestos orgánicos y sustancias químicas residuales que pueden estar presentes en el agua residual tratada. El carbón activado tiene una gran capacidad de adsorción y puede mejorar la calidad del agua eliminando compuestos indeseables.
- ✓ **Membranas de ultrafiltración:** Las membranas de ultrafiltración son filtros con poros muy pequeños que retienen partículas, microorganismos y compuestos disueltos en el agua. Estas membranas son altamente eficientes

para eliminar incluso partículas muy pequeñas y microorganismos, proporcionando una barrera física adicional en el tratamiento del agua.

- **Procesos de desinfección avanzada:** Después de la filtración adicional, se pueden utilizar procesos de desinfección avanzada para garantizar la eliminación de microorganismos patógenos y compuestos químicos recalcitrantes. Algunos de los métodos de desinfección utilizados en el tratamiento terciario incluyen:
 - ✓ **Cloración avanzada:** Se utiliza la cloración con productos químicos como el cloro o el dióxido de cloro en concentraciones controladas para desinfectar el agua y eliminar microorganismos patógenos. La cloración avanzada también puede ayudar a la oxidación de compuestos orgánicos y la eliminación de olores.
 - ✓ **Ozonización:** El ozono es un potente oxidante y desinfectante que se utiliza para destruir microorganismos, eliminar compuestos orgánicos y reducir la presencia de sustancias químicas no deseadas en el agua. El ozono es altamente reactivo y se descompone rápidamente después de su uso, dejando el agua tratada sin residuos químicos.
 - ✓ **Tratamiento con luz ultravioleta (UV):** La radiación UV se utiliza para desinfectar el agua tratada mediante la exposición a luz ultravioleta de alta intensidad. La radiación UV daña el material genético de los microorganismos, impidiendo su reproducción y actividad. Sin embargo, la radiación UV no deja

residual en el agua y no es efectiva para la eliminación de compuestos químicos.

- **Eliminación de nutrientes:** En algunos casos, especialmente cuando se requiere un tratamiento más avanzado para cumplir con estándares de calidad específicos o cuando las aguas residuales se descargan en cuerpos de agua sensibles, se realiza la eliminación de nutrientes adicionales, como nitrógeno y fósforo.
- ✓ **Desnitrificación:** La desnitrificación es un proceso biológico en el que los microorganismos convierten el nitrato presente en el agua residual en nitrógeno gaseoso, que se libera a la atmósfera. Esto se logra en condiciones anaeróbicas controladas, donde se proporciona una fuente de carbono orgánico para los microorganismos desnitrificantes.
- ✓ **Eliminación de fósforo:** La eliminación de fósforo se puede lograr mediante procesos biológicos o químicos. Los procesos biológicos implican la estimulación del crecimiento de bacterias que pueden acumular y almacenar fósforo en sus células. Los procesos químicos implican la adición de productos químicos, como sales metálicas de hierro o aluminio, que reaccionan con el fósforo y lo precipitan en forma de compuestos insolubles.

1.3.5. Tratamiento avanzado

Tratamiento avanzado: En algunos casos, se requiere un tratamiento adicional para cumplir con estándares de calidad de agua más estrictos o para la reutilización del agua tratada. Estos procesos avanzados pueden incluir la filtración de membrana, la ósmosis inversa, la adsorción con carbón activado u otros métodos de eliminación de contaminantes específicos. (Ortega Ramírez et al., 2021)

1.3.6. Deshidratación de lodos

Deshidratación de lodos: Durante todo el proceso de tratamiento, se generan lodos residuales que contienen materia orgánica y sólidos suspendidos. Estos lodos se espesan y deshidratan para reducir su volumen y facilitar su manejo y disposición. Los métodos comunes de deshidratación de lodos incluyen la filtración por prensa, la centrifugación y el secado por lodos. (MICRONICS, n.d.)

Es importante destacar que el diseño y la configuración exactos de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden variar según las características específicas del agua residual y los requisitos locales. Además, pueden incorporarse tecnologías adicionales o adaptaciones según las necesidades y regulaciones específicas de cada ubicación.

1.4. Proceso de Coagulación y floculación

1.4.1. Coagulación:

La coagulación es un proceso en el tratamiento de aguas residuales que tiene como objetivo principal la eliminación de partículas y sustancias coloidales suspendidas en el agua. Durante este proceso, se agregan coagulantes al agua residual para neutralizar las cargas eléctricas de las partículas presentes, lo que permite su aglutinación y formación de flóculos más grandes. Los coagulantes más comúnmente utilizados son sales metálicas, como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico. (Kassandra Huerta Calleja, n.d.)

El coagulante añadido al agua se disocia en iones positivos (cationes) que neutralizan las cargas negativas de las partículas suspendidas. Esto provoca la neutralización de las repulsiones eléctricas entre las partículas y facilita su unión. Además, los iones metálicos pueden formar puentes entre las partículas, lo que contribuye a la formación de flóculos más grandes y pesados.

Consiste en la adición de un agente coagulante al agua residual para neutralizar las cargas eléctricas de las partículas y formar flóculos que puedan ser fácilmente removidos por sedimentación o filtración. A continuación, se describe el proceso de coagulación en detalle:

- **Pretratamiento:** Antes de la coagulación, el agua residual puede someterse a un pretratamiento para eliminar sólidos gruesos, como piedras, palos y otros

materiales grandes. Esto se puede lograr mediante tamices o rejillas que retienen los sólidos de mayor tamaño y evitan que obstruyan los equipos y dañen los procesos posteriores.

- **Selección del coagulante:** Se selecciona el agente coagulante adecuado según las características del agua residual y los contaminantes presentes. Los coagulantes más comúnmente utilizados son sales metálicas, como sulfato de aluminio (alumbre), cloruro férrico o cloruro de polialuminio. Estos coagulantes liberan iones metálicos cargados positivamente, que neutralizan las cargas negativas de las partículas y sustancias coloidales.
- **Dosificación del coagulante:** El coagulante se dosifica en el agua residual de manera controlada. La dosis óptima de coagulante depende de factores como la turbidez del agua, la concentración de sólidos suspendidos, el pH, la alcalinidad y la temperatura. Para determinar la dosis adecuada, se realizan pruebas en laboratorio o se utiliza el monitoreo en línea para ajustar la dosificación en tiempo real.
- **Mezcla rápida:** Después de la adición del coagulante, el agua residual se somete a una etapa de mezcla rápida. Durante esta etapa, se mezcla intensamente el coagulante con el agua para asegurar una distribución uniforme y promover la coagulación de las partículas. La mezcla rápida se logra mediante la agitación mecánica o el uso de dispositivos de mezcla, como mezcladores de paletas o bombas de alta velocidad.

- **Tiempo de reacción y formación de flóculos:** Después de la etapa de mezcla rápida, el agua residual pasa a una zona de reposo donde se permite que el coagulante reaccione con las partículas y sustancias coloidales presentes. Durante este tiempo de reacción, los iones metálicos del coagulante se unen a las cargas negativas de las partículas, neutralizándolas y formando flóculos más grandes.
- **Mezcla lenta:** Después del tiempo de reacción, el agua residual se somete a una etapa de mezcla lenta. Durante esta etapa, se proporciona una agitación suave para promover la agregación de las partículas y la formación de flóculos más grandes y pesados. La mezcla lenta ayuda a mejorar la sedimentación y facilita la separación de los flóculos del agua residual.
- **Sedimentación o flotación:** Después de la etapa de mezcla lenta, el agua residual pasa a un sedimentador o un equipo de flotación donde los flóculos formados durante la coagulación se separan del agua. En el caso de la sedimentación, los flóculos se depositan en el fondo del sedimentador debido a su mayor peso. En el caso de la flotación, se introducen microburbujas de aire para adherirse a los flóculos y hacerlos flotar en la superficie, donde se recolectan y se eliminan.
- **Filtración:** En algunos casos, después de la sedimentación o la flotación, el agua residual puede pasar por un proceso de filtración para eliminar las partículas finas que no se han eliminado por completo en las etapas anteriores.

La filtración puede realizarse mediante diferentes medios, como arena, carbón activado o membranas, dependiendo de los requisitos de calidad del agua tratada.

- **Desinfección:** Una vez que se ha completado el proceso de coagulación, sedimentación y filtración, el agua residual tratada puede requerir una etapa de desinfección para eliminar microorganismos patógenos. La desinfección se puede lograr mediante diferentes métodos, como la cloración, la ozonización o la radiación ultravioleta, según las necesidades y regulaciones locales.
- **Post-tratamiento y disposición final:** Después de la desinfección, el agua residual tratada puede requerir un post-tratamiento adicional, como el ajuste del pH, la remoción de compuestos específicos o la remineralización, antes de su disposición final. La disposición final puede ser la descarga segura en cuerpos de agua receptoras, la reutilización para fines agrícolas o industriales, o la infiltración en el suelo.

En resumen, el proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales implica la adición de un coagulante para neutralizar las cargas eléctricas, la formación de flóculos y la posterior separación de los flóculos del agua residual mediante sedimentación, flotación y filtración. Es un proceso fundamental para la remoción de partículas suspendidas y sustancias coloidales, y su eficiencia depende de la selección adecuada del coagulante, la dosificación precisa, la mezcla adecuada y el control de las etapas de

sedimentación y filtración. (Cabrera Bermúdez et al., 2009b; CEUPE, n.d.; Grupo Acura, 2023; Ing. Guy Sela, n.d.; LMI, n.d.)

1.4.2. floculación:

La floculación es el proceso posterior a la coagulación y consiste en la agregación de los flóculos formados durante la coagulación para generar partículas más grandes y pesadas que se sedimentan más fácilmente o pueden ser eliminadas mediante filtración. Durante la floculación, se agregan floculantes al agua residual tratada. (Cabrera Bermúdez et al., 2009b)

Los floculantes, que pueden ser polímeros sintéticos o naturales, tienen la capacidad de adsorberse en la superficie de los flóculos y formar puentes entre ellos. Esto promueve la agregación de los flóculos en partículas más grandes, conocidas como flóculos floculados, que se sedimentan rápidamente debido a su mayor tamaño y peso.

La floculación se lleva a cabo en tanques o clarificadores donde el agua se mantiene en reposo durante un período de tiempo determinado. Durante este tiempo, los flóculos se agrupan y se asientan en el fondo del tanque, mientras que el agua clarificada se recoge en la parte superior. (Cabrera Bermúdez et al., 2009a)

Es importante destacar que la eficiencia de los procesos de coagulación y floculación puede verse influenciada por varios factores, como la dosificación de coagulantes y floculantes, el pH del agua, el tiempo de mezcla y sedimentación, entre otros. Estos procesos son fundamentales en el tratamiento de aguas residuales, ya que permiten la

remoción de partículas y sustancias coloidales, mejorando la calidad del agua y su posterior tratamiento y reutilización.

La floculación implica la formación de flóculos más grandes y pesados a partir de partículas más pequeñas, lo que facilita su separación del agua residual. A continuación, se describe el proceso de floculación en detalle:

- **Coagulación previa:** Antes de la floculación, es común aplicar una etapa de coagulación previa utilizando un agente coagulante, como alumbre (sulfato de aluminio) o cloruro férrico. La coagulación previa ayuda a neutralizar las cargas eléctricas de las partículas y a formar flóculos iniciales más pequeños y densos. Esta etapa prepara el agua residual para la posterior floculación.
- **Selección del floculante:** El floculante es una sustancia química o un polímero que ayuda a unir las partículas en flóculos más grandes. Los floculantes más comunes son las poliacrilamidas y los polielectrolitos. La elección del floculante depende de las características del agua residual, como el tipo y tamaño de las partículas, la carga superficial y la turbidez.
- **Dosificación del floculante:** El floculante se dosifica en el agua residual después de la etapa de coagulación previa. La dosis óptima de floculante depende de varios factores, como la concentración de partículas suspendidas, la turbidez del agua, el pH, la alcalinidad y la temperatura. Se realizan pruebas en laboratorio o se utiliza el monitoreo en línea para ajustar la dosis de floculante de manera precisa.

- **Mezcla lenta:** Después de la dosificación del floculante, el agua residual se somete a una etapa de mezcla lenta. Durante esta etapa, el agua se agita suavemente para permitir que el floculante se distribuya uniformemente y promueva la agregación de las partículas en flóculos más grandes. La mezcla lenta ayuda a que los flóculos crezcan y se vuelvan más densos.
- **Tiempo de floculación:** Después de la mezcla lenta, el agua residual se mantiene en reposo durante un período de tiempo determinado, conocido como tiempo de floculación. Durante este tiempo, los flóculos continúan creciendo y se vuelven más densos debido a la colisión y agregación de partículas. El tiempo de floculación puede variar dependiendo de las características del agua y del floculante utilizado.
- **Sedimentación o flotación:** Después del tiempo de floculación, el agua residual se dirige a un sedimentador o un equipo de flotación para separar los flóculos del agua. En la sedimentación, los flóculos más grandes y densos se depositan en el fondo del sedimentador debido a su peso. En la flotación, se introducen microburbujas de aire que se adhieren a los flóculos y los hacen flotar en la superficie, donde se recolectan y se retiran.
- **Filtración:** En algunos casos, después de la sedimentación o la flotación, el agua residual puede pasar por un proceso de filtración adicional para eliminar las partículas finas que no se han eliminado por completo en las etapas

anteriores. La filtración puede ser mediante medios como arena, carbón activado o membranas, según los requisitos de calidad del agua tratada.

- **Desinfección:** Después del proceso de floculación y separación de los flóculos, el agua residual tratada puede requerir una etapa de desinfección para eliminar microorganismos patógenos. La desinfección se puede lograr mediante métodos como la cloración, la ozonización o la radiación ultravioleta, según las necesidades y regulaciones locales.
- **Post-tratamiento y disposición final:** Después de la desinfección, el agua residual tratada puede requerir un post-tratamiento adicional, como el ajuste del pH, la remoción de compuestos específicos o la remineralización, antes de su disposición final. La disposición final puede ser la descarga segura en cuerpos de agua receptoras, la reutilización para fines agrícolas o industriales, o la infiltración en el suelo.

En resumen, el proceso de floculación en el tratamiento de aguas residuales implica la dosificación de un floculante, la mezcla lenta para promover la formación de flóculos más grandes, el tiempo de floculación para permitir el crecimiento y densificación de los flóculos, y la separación de los flóculos del agua residual mediante sedimentación, flotación y filtración. Es un proceso esencial para la remoción de partículas finas y sustancias coloidales, y su eficiencia depende de la selección adecuada del floculante, la dosificación precisa, la mezcla adecuada y el control de las etapas de sedimentación y

filtración. (Admin, n.d.; Burgstaller et al., 2018; Equipo Flowen, 2022; Nihon Kasetsu, n.d.; SPENA, 2016)

1.5. Mecanismos de Coagulación y floculación

1.5.1. Coagulantes naturales:

- **Neutralización de cargas eléctricas:** Los coagulantes naturales contienen compuestos químicos que tienen cargas opuestas a las partículas suspendidas en el agua, como polisacáridos o proteínas. Estos compuestos se adhieren a las partículas cargadas negativamente, neutralizando sus cargas eléctricas. Al neutralizar las cargas, las partículas pierden su repulsión electrostática y se acercan entre sí, favoreciendo la formación de agregados más grandes. (Dobiáš & Stechemesser, 2005)
- **Coagulación por enlace químico:** Algunos coagulantes naturales contienen compuestos químicos con grupos funcionales reactivos, como grupos hidroxilo o amino. Estos grupos pueden formar enlaces químicos junto con las partículas que se encuentran en suspensión en el agua, generando agregados más grandes y estables. Por ejemplo, los taninos presentes en algunos coagulantes naturales pueden reaccionar con las proteínas presentes en las partículas, formando complejos estables que promueven la aglutinación. (QUIMICA.ES, n.d.-a)

El proceso de coagulación con coagulantes naturales es una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales. A diferencia de los coagulantes convencionales, que suelen ser compuestos químicos sintéticos, los coagulantes naturales se derivan de fuentes naturales como plantas, minerales y microorganismos. A continuación, se describe el proceso de coagulación con coagulantes naturales en detalle:

- **Selección del coagulante natural:** La elección del coagulante natural adecuado depende de las características del agua residual y los contaminantes presentes. Algunos ejemplos comunes de coagulantes naturales incluyen la semilla de *Moringa oleifera*, el almidón de yuca, la cáscara de plátano, las arcillas y las proteínas vegetales. Cada coagulante natural tiene propiedades específicas de coagulación y debe seleccionarse en función de las necesidades del tratamiento.
- **Extracción del coagulante natural:** El coagulante natural seleccionado se obtiene de su fuente original. Esto puede implicar la recolección de semillas, la extracción de proteínas vegetales o la preparación de soluciones a partir de materiales como la cáscara de plátano. En algunos casos, es posible que se requieran procesos adicionales, como la molienda, el secado o la fermentación, para obtener el coagulante en la forma adecuada para su uso.
- **Preparación de la solución coagulante:** Una vez obtenido el coagulante natural, se prepara una solución o suspensión que se dosificará en el agua

residual. Esto puede implicar la mezcla del coagulante con agua para obtener la concentración adecuada. Es importante seguir las recomendaciones específicas para la preparación de la solución coagulante proporcionadas por el fabricante o basadas en la investigación científica disponible.

- **Dosificación del coagulante natural:** La dosis óptima de coagulante natural depende de factores como la turbidez del agua, la concentración de sólidos suspendidos, el pH, la alcalinidad y la temperatura. Se realizan pruebas en laboratorio o se utiliza el monitoreo en línea para ajustar la dosis de coagulante natural de manera precisa. Es importante tener en cuenta que las dosis de coagulantes naturales suelen ser diferentes a las de los coagulantes convencionales, y se requiere un ajuste adecuado.
- **Mezcla rápida:** Después de la dosificación del coagulante natural, el agua residual se somete a una etapa de mezcla rápida. Durante esta etapa, se agita intensamente el agua para asegurar una distribución uniforme del coagulante natural. La mezcla rápida puede lograrse mediante agitación mecánica o el uso de dispositivos de mezcla, como mezcladores de paletas o bombas de alta velocidad.
- **Tiempo de reacción y formación de flóculos:** Después de la etapa de mezcla rápida, el agua residual se mantiene en reposo durante un tiempo de reacción determinado. Durante este tiempo, los coagulantes naturales interactúan con las partículas suspendidas y los contaminantes presentes en el agua, lo que lleva a

la formación de flóculos más grandes. El tiempo de reacción puede variar dependiendo del coagulante utilizado y las características del agua residual.

- **Sedimentación o flotación:** Después del tiempo de reacción, el agua residual se dirige a un sedimentador o un equipo de flotación para separar los flóculos formados del agua. Los flóculos más grandes y pesados se depositan en el fondo del sedimentador por sedimentación, o en el caso de la flotación, las microburbujas de aire se utilizan para hacer flotar los flóculos hacia la superficie, donde se recolectan y se eliminan.
- **Filtración:** En algunos casos, después de la sedimentación o la flotación, el agua residual puede pasar por un proceso de filtración adicional para eliminar las partículas finas que no se han eliminado completamente en las etapas anteriores. Esto se puede lograr mediante la utilización de medios de filtración como arena, carbón activado o membranas, dependiendo de los requisitos de calidad del agua tratada.
- **Desinfección:** Después del proceso de coagulación con coagulantes naturales y la separación de los flóculos, el agua residual tratada puede requerir una etapa de desinfección para eliminar microorganismos patógenos. La desinfección se puede lograr mediante métodos como la cloración, la ozonización o la radiación ultravioleta, según las necesidades y regulaciones locales.
- **Post-tratamiento y disposición final:** Después de la desinfección, el agua residual tratada puede requerir un post-tratamiento adicional, como el ajuste

del pH, la remoción de compuestos específicos o la remineralización, antes de su disposición final. La disposición final puede ser la descarga segura en cuerpos de agua receptoras, la reutilización para fines agrícolas o industriales, o la infiltración en el suelo.

En resumen, el proceso de coagulación con coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales implica la selección y extracción del coagulante natural, la preparación de la solución coagulante, la dosificación precisa en el agua residual, la mezcla rápida, el tiempo de reacción para la formación de flóculos, la sedimentación o flotación para separar los flóculos, la posible filtración adicional, la desinfección, el post-tratamiento y la disposición final del agua tratada. Es un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente en comparación con los coagulantes convencionales, y su eficiencia depende de la selección adecuada del coagulante natural, la dosificación precisa y el control de las etapas de sedimentación y filtración. (Abebe et al., 2016; Anastasakis et al., 2009; Banchón et al., 2016; Beltrán-Heredia et al., 2010, 2011; Choy et al., 2016; De Paula et al., 2014; C. Francisco et al., n.d.; Ramírez Arcila & Jaramillo Peralta, 2015)

1.5.2. Floculantes naturales:

- **Adsorción y entrecruzamiento:** Los floculantes naturales tienen la capacidad de adsorberse en la superficie de los flóculos formados durante la coagulación. Estos floculantes naturales se adhieren a los flóculos, generando un entrecruzamiento físico entre ellos. Este entrecruzamiento fortalece la

estructura de los flóculos, evitando su desintegración y aumentando su estabilidad.

- **Puenteo y agregación de partículas:** Los floculantes naturales pueden formar puentes físicos entre los flóculos y las partículas finas o coloidales presentes en el agua residual. Estos puentes se forman a través de interacciones electrostáticas o interacciones de enlace químico. Los floculantes naturales se adhieren a las partículas y a los flóculos, uniéndolos entre sí y formando estructuras más grandes y pesadas, conocidas como flóculos floculados.
- **Aumento de la velocidad de sedimentación:** Los floculantes naturales pueden incrementar la velocidad de sedimentación de los flóculos. Al formar estructuras más densas y compactas, los floculantes naturales hacen que los flóculos sedimenten más rápidamente en los tanques de sedimentación. Esto facilita la separación de los flóculos del agua tratada, mejorando la clarificación y la calidad del efluente.

Es importante tener en cuenta que los mecanismos de acción de los coagulantes y floculantes naturales pueden variar dependiendo del tipo de material utilizado, su dosificación y las características específicas del agua residual a tratar. La elección adecuada de los coagulantes y floculantes naturales y su correcta aplicación son fundamentales para lograr una eficiente remoción de los contaminantes y obtener un agua tratada de calidad.

El proceso de floculación con floculantes naturales es una técnica utilizada en el tratamiento de aguas residuales para promover la formación de flóculos más grandes y pesados, que luego pueden ser separados del agua mediante sedimentación, flotación o filtración. A continuación, se describe el proceso de floculación con floculantes naturales en detalle:

- **Selección del floculante natural:** La elección del floculante natural adecuado depende de las características del agua residual y los contaminantes presentes. Algunos ejemplos comunes de floculantes naturales incluyen polisacáridos como el almidón de yuca, el chitosán, la goma de guar y la semilla de Moringa oleifera. Cada floculante natural tiene propiedades específicas de floculación y debe seleccionarse en función de las necesidades del tratamiento.
- **Preparación del floculante natural:** El floculante natural seleccionado se prepara en forma de solución o suspensión para su dosificación en el agua residual. Esto puede implicar la disolución o dispersión del floculante en agua para obtener la concentración adecuada. Es importante seguir las recomendaciones específicas para la preparación del floculante natural proporcionadas por el fabricante o basadas en la investigación científica disponible.
- **Dosificación del floculante natural:** La dosis óptima de floculante natural depende de factores como la turbidez del agua, la concentración de sólidos suspendidos, el pH, la alcalinidad y la temperatura. Se realizan pruebas en

laboratorio o se utiliza el monitoreo en línea para ajustar la dosis de floculante natural de manera precisa. Es importante tener en cuenta que las dosis de floculantes naturales suelen ser diferentes a las de los floculantes convencionales, y se requiere un ajuste adecuado.

- **Mezcla lenta:** Después de la dosificación del floculante natural, el agua residual se somete a una etapa de mezcla lenta. Durante esta etapa, el agua se agita suavemente para promover la formación de flóculos más grandes. La mezcla lenta permite que el floculante natural se distribuya uniformemente y que las partículas suspendidas se agreguen entre sí para formar flóculos.
- **Tiempo de floculación:** Después de la etapa de mezcla lenta, el agua residual se mantiene en reposo durante un tiempo de floculación determinado. Durante este tiempo, los flóculos se desarrollan y se vuelven más densos a medida que las partículas se agregan y se entrelazan entre sí. El tiempo de floculación puede variar dependiendo del floculante utilizado y las características del agua residual.
- **Separación de los flóculos:** Después del tiempo de floculación, el agua residual se dirige a una etapa de separación para separar los flóculos formados del agua. Esto se puede lograr mediante diferentes métodos, como la sedimentación, la flotación o la filtración. En la sedimentación, los flóculos más grandes y pesados se depositan en el fondo del sedimentador, mientras que, en la flotación, se utilizan microburbujas de aire para hacer flotar los

flóculos hacia la superficie, donde se recolectan y se eliminan. En el caso de la filtración, los flóculos pueden ser atrapados por un medio de filtración como arena o carbón activado.

- **Post-tratamiento y disposición final:** Después de la separación de los flóculos, el agua residual tratada puede requerir un post-tratamiento adicional, como el ajuste del pH, la remoción de compuestos específicos o la desinfección, antes de su disposición final. La disposición final puede ser la descarga segura en cuerpos de agua receptoras, la reutilización para fines agrícolas o industriales, o la infiltración en el suelo.

En resumen, el proceso de floculación con floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales implica la selección y preparación del floculante natural, la dosificación precisa en el agua residual, la etapa de mezcla lenta para promover la formación de flóculos, el tiempo de floculación para el desarrollo y densificación de los flóculos, la separación de los flóculos mediante sedimentación, flotación o filtración, el post-tratamiento adicional si es necesario, y la disposición final del agua tratada. El uso de floculantes naturales ofrece una alternativa más sostenible y respetuosa con el medio ambiente en comparación con los floculantes convencionales, y su eficiencia depende de la selección adecuada del floculante natural, la dosificación precisa y el control de las etapas de floculación y separación. (Adrián et al., n.d.; De Post-Grado et al., n.d.-a; Herrera, n.d.; Ramírez Arcila et al., 2015; Trujillo et al., 2014)

2. Capítulo 2: Resultados

2.1. Coagulantes Naturales

2.1.1. Semillas de Moringa oleífera

Las semillas de Moringa oleífera contienen proteínas catiónicas que actúan como coagulantes naturales. Estas proteínas tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas en el agua, favoreciendo la formación de flóculos. (Okuda et al., 2001a)

- **Propiedades químicas:** La Moringa oleífera contiene varias sustancias químicas que le confieren propiedades coagulantes. Una de las sustancias más importantes es una proteína catiónica llamada poliacrilamida, que es soluble en agua y tiene la capacidad de unir partículas suspendidas en el agua. Además, la Moringa oleífera contiene polisacáridos y taninos que también contribuyen a su acción coagulante. (Maria Emilia Carretero Accame, n.d.)
- **Preparación de las semillas de Moringa oleífera:** Las semillas de Moringa oleífera se recolectan y secan al sol para su posterior uso. Una vez secas, se retira la cáscara exterior y se obtienen las semillas internas, que se muelen para obtener un polvo fino. Este polvo se utiliza como coagulante natural.
- **Aplicación en el tratamiento del agua:** El polvo de las semillas de Moringa oleífera se agrega al agua a tratar. Puede agregarse directamente al agua o mezclarse previamente con agua para formar una solución antes de su adición.

Las propiedades coagulantes de las semillas ayudan en el proceso de tratamiento.

- **Dosificación de las semillas de Moringa oleífera:** La dosificación de las semillas puede variar dependiendo de la calidad del agua, el nivel de turbidez y los objetivos del tratamiento. La dosis recomendada generalmente oscila entre 50 y 500 mg/L de agua, pero esto puede variar según las características específicas del agua y del tipo de semillas utilizadas. Es recomendable realizar pruebas de dosificación para determinar la cantidad óptima necesaria en cada caso. (John Jairo Feria, 2014)
- **Coagulación y floculación:** Una vez que se agrega el polvo de las semillas al agua, se produce la coagulación y floculación de las partículas en suspensión. Los compuestos presentes en las semillas ayudan a neutralizar las cargas eléctricas de las partículas y promueven su aglomeración y formación de flóculos más grandes.
- **Mezcla rápida:** Una vez que se ha dosificado el coagulante de Moringa oleífera, el agua residual se somete a una etapa de mezcla rápida. Durante esta etapa, el coagulante se dispersa rápidamente en el agua residual, asegurando una distribución uniforme del coagulante y su contacto con las partículas suspendidas.
- **Decantación y filtración:** Después de la coagulación y floculación, el agua se deja en reposo para permitir que los flóculos se sedimenten en el fondo del

recipiente. Luego, se realiza un proceso de decantación para separar el agua clarificada de los flóculos sedimentados. En algunos casos, puede ser necesario complementar la decantación con procesos de filtración para eliminar partículas más finas.

- **Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:** Las semillas de *Moringa oleífera* pueden ser eficaces para reducir la turbidez del agua mediante la coagulación y floculación de las partículas en suspensión. Algunas de las afectaciones y beneficios adicionales de las semillas como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales incluyen:
 - ✓ **Remoción de partículas en suspensión:** Las semillas de *Moringa oleífera* ayudan a eliminar partículas en suspensión, incluyendo sedimentos, arcillas y materia orgánica.
 - ✓ **Eliminación de bacterias y patógenos:** Las semillas tienen propiedades antimicrobianas que pueden contribuir a la eliminación de bacterias y patógenos presentes en el agua, mejorando así su calidad microbiológica.
 - ✓ **Reducción de la demanda química de oxígeno (DQO):** El uso de semillas de *Moringa oleífera* puede ayudar a reducir la DQO del agua tratada, lo que indica una disminución de la carga orgánica y contaminantes presentes.
 - ✓ **Mejora de la claridad y transparencia:** La coagulación y floculación de las partículas turbias conducen a una mejora en la claridad y transparencia del agua tratada.

- ✓ **Uso sostenible y económico:** Las semillas de Moringa oleífera son una alternativa natural y de bajo costo como coagulante, lo que puede resultar en un tratamiento más sostenible y económicamente viable en comparación con los productos químicos convencionales.
- ✓ **Remoción de metales pesados:** Se ha informado que las semillas de Moringa oleífera tienen la capacidad de adsorber metales pesados presentes en el agua, lo que contribuye a su eliminación durante el proceso de tratamiento.

En resumen, la Moringa oleífera funciona como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales debido a las propiedades coagulantes de sus compuestos químicos, como la proteína catiónica, los polisacáridos y los taninos. El proceso de coagulación con Moringa oleífera implica la extracción de las semillas, la preparación de una solución coagulante, la dosificación precisa en el agua residual, la etapa de mezcla rápida, la formación de flóculos, la separación de los flóculos mediante sedimentación o flotación, y opcionalmente, una etapa de filtración adicional. La Moringa oleífera ha demostrado ser una alternativa efectiva y económica a los coagulantes convencionales en el tratamiento de aguas residuales. (De et al., 2016; Edwin Geovani Turcios Flores, 2019; Jairo et al., 2014; Khaterin et al., 2018)

2.1.2. Semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*)

Las semillas de Nirmali contienen sustancias con propiedades coagulantes. Estas sustancias pueden neutralizar las cargas negativas de las partículas en suspensión, facilitando su aglutinación y separación del agua.

Las semillas de Nirmali, también conocidas como semillas de Therran o semillas de limpiador de agua, son ampliamente utilizadas como coagulante natural en el tratamiento de aguas. A continuación, se describe el proceso detallado de cómo funcionan las semillas de Nirmali como coagulante:

- **Propiedades químicas:** Las semillas de Nirmali contienen sustancias químicas que les confieren propiedades coagulantes. El componente clave presente en las semillas es una proteína catiónica llamada potatorina, que es soluble en agua. La potatorina tiene la capacidad de neutralizar las cargas negativas de las partículas en el agua, permitiendo que se agreguen y formen flóculos más grandes.
- **Preparación de las semillas de Nirmali:** Las semillas de Nirmali se recolectan y se secan al sol hasta que estén completamente deshidratadas. Luego, se muelen hasta obtener un polvo fino que se utiliza como coagulante.
- **Aplicación en el tratamiento del agua:** El polvo de las semillas de Nirmali se añade al agua a tratar. Puede agregarse directamente al agua o puede mezclarse previamente con agua para formar una solución antes de su adición. Las

propiedades coagulantes de las semillas ayudan a eliminar las partículas en suspensión y a clarificar el agua.

- **Dosificación de las semillas de Nirmali:** La dosificación de las semillas puede variar en función de la calidad del agua, el nivel de turbidez y los objetivos del tratamiento. La dosis recomendada generalmente oscila entre 10 y 100 mg/L de agua, pero esto puede variar según las características específicas del agua y del tipo de semillas utilizadas. Se recomienda realizar pruebas de dosificación para determinar la cantidad óptima necesaria en cada caso. (John Jairo Feria, 2014)
- **Coagulación y floculación:** Una vez que se añade el polvo de las semillas al agua, se produce la coagulación y floculación de las partículas en suspensión. Los compuestos presentes en las semillas ayudan a neutralizar las cargas eléctricas de las partículas y promueven su aglomeración y formación de flóculos más grandes.
- **Mezcla rápida:** Después de dosificar el coagulante de Nirmali, el agua residual se somete a una etapa de mezcla rápida. Durante esta etapa, la solución de coagulante se dispersa rápidamente en el agua residual para permitir un contacto adecuado entre el coagulante y las partículas suspendidas.
- **Decantación y filtración:** Después de la coagulación y floculación, el agua se deja en reposo para permitir que los flóculos se sedimenten en el fondo

del recipiente. Luego, se realiza un proceso de decantación para separar el agua clarificada de los flóculos sedimentados. En algunos casos, puede ser necesario complementar la decantación con procesos de filtración para eliminar partículas más finas.

- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:
- ✓ **Reducción de la turbidez:** Las semillas de Nirmali actúan como agentes coagulantes y ayudan a eliminar las partículas en suspensión, lo que resulta en una reducción de la turbidez del agua tratada.
- ✓ **Eliminación de sólidos suspendidos:** Las semillas de Nirmali son eficaces para la remoción de sólidos suspendidos, incluyendo sedimentos, arcillas y otras partículas presentes en el agua.
- ✓ **Mejora de la calidad del agua:** Al eliminar las partículas en suspensión, las semillas de Nirmali contribuyen a mejorar la claridad y transparencia del agua tratada, lo que se traduce en una mejor calidad estética.
- ✓ **Uso sostenible y económico:** Las semillas de Nirmali son una alternativa natural y de bajo costo como coagulante, lo que puede resultar en un tratamiento más sostenible y económicamente viable en comparación con los productos químicos convencionales.

Es importante tener en cuenta que la eficacia de las semillas de Nirmali como coagulante natural puede variar según la calidad del agua, la dosificación utilizada y otros parámetros específicos del sistema de tratamiento. (1985167, n.d.; GEMMA ARINTZY MORENO CABRERA, 2018; L. Guzmán et al., 2013; John Jairo Feria, 2014; Olivero et al., 2020)

2.1.3. Taninos

Los taninos son compuestos fenólicos que se encuentran en diversas plantas, como el quebracho y la acacia. Los taninos tienen la capacidad de formar complejos con las partículas suspendidas, promoviendo su aglutinación y separación del agua.

- **Naturaleza de los taninos:** Los taninos son compuestos orgánicos que se encuentran en diversas plantas, como la corteza, las hojas y los frutos. Son polifenoles de alto peso molecular que poseen propiedades coagulantes debido a su capacidad para formar complejos insolubles con las partículas suspendidas en el agua. (QUIMICA.ES, n.d.-b)
- Extracción y preparación de los taninos:
- **Extracción de los taninos:** Los taninos se pueden extraer de diversas fuentes vegetales, como la corteza de árboles como el roble, el pino o el mimosa. El proceso de extracción puede variar, pero generalmente implica la maceración o

ebullición de las partes vegetales en agua para liberar los taninos. También se pueden utilizar otros solventes, como el alcohol, para la extracción.

- **Filtración y clarificación:** Después de la extracción, se realiza una filtración para eliminar las impurezas y los sólidos no deseados presentes en el extracto de taninos. También se pueden utilizar métodos de clarificación adicionales, como la decantación o el uso de agentes clarificantes, para obtener un extracto de taninos limpio y puro.

➤ Dosificación de los taninos:

- **Determinación de la dosis:** La dosis adecuada de taninos depende de varios factores, como la calidad del agua a tratar, el nivel de turbidez y la cantidad de impurezas presentes. Se recomienda realizar pruebas de dosificación para determinar la cantidad óptima de taninos requerida. Estas pruebas implican el uso de diferentes concentraciones de taninos y la evaluación de la efectividad de la coagulación y la clarificación.
- **Dosificación adecuada:** La cantidad de taninos a utilizar varía según las necesidades específicas de tratamiento. Por lo general, la dosificación recomendada de taninos es de 10 a 100 mg por litro de agua a tratar. Sin embargo, es importante ajustar la dosis en función de las características del agua y los resultados deseados.

➤ Aplicación de los taninos:

- **Adición de los taninos:** La solución de taninos se agrega al agua a tratar en una etapa de mezcla rápida, preferiblemente en el punto de entrada al sistema de tratamiento de aguas residuales. Se puede utilizar un dispositivo de dosificación adecuado para una aplicación uniforme de los taninos en el agua.

➤ Coagulación y floculación:

- **Coagulación:** Los taninos actúan como coagulantes naturales en el tratamiento de aguas residuales. Estos compuestos tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas en suspensión presentes en el agua, lo que permite la formación de flóculos más grandes y pesados.

➤ Decantación y filtración:

- **Decantación:** Después de la coagulación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación para permitir que los flóculos se sedimenten hacia el fondo. Durante este proceso, los flóculos atrapan las partículas en suspensión y las llevan hacia el fondo del tanque.
- **Filtración:** Una vez que los flóculos se han asentado, el agua clarificada se separa cuidadosamente de la capa de lodo sedimentado en el fondo del tanque. A continuación, el agua clarificada puede pasar por un proceso adicional de

filtración para eliminar cualquier partícula residual y obtener una mayor calidad de agua tratada.

- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:
- ✓ **Reducción de la turbidez:** La aplicación de taninos como coagulante natural tiene un efecto positivo en la reducción de la turbidez del agua. Los taninos coagulan y flocculan las partículas en suspensión, permitiendo que se sedimenten y se separen del agua clarificada.
- ✓ **Eliminación de impurezas:** Además de reducir la turbidez, los taninos también pueden ayudar a eliminar otros contaminantes presentes en el agua, como materia orgánica, colorantes, algunos metales pesados y compuestos orgánicos disueltos.
- ✓ **Compatibilidad con otros tratamientos:** Los taninos se pueden utilizar en combinación con otros coagulantes naturales o convencionales, como la Moringa oleífera o las sales de aluminio o hierro, para mejorar la eficiencia del proceso de coagulación. La elección del coagulante dependerá de las características del agua a tratar y de los objetivos de tratamiento específicos.

Es importante tener en cuenta que la eficacia de los taninos en el tratamiento de aguas residuales puede variar según la calidad del agua, la dosificación adecuada, el pH, la temperatura y otros parámetros específicos del agua a tratar. (Camila & Duque, 2018;

Llano et al., 2014a; QUIMICA.ES, n.d.-b; Ramírez-Ramírez et al., 2016; Rennola et al., 2007)

2.1.4. Cactus

Algunas especies de cactus, como el *Opuntia ficus-indica*, han sido estudiadas por sus propiedades coagulantes. Los mucílagos presentes en el cactus actúan como agentes coagulantes al neutralizar las cargas eléctricas de las partículas y facilitar su aglutinación.

- **Preparación del cactus:** El cactus se selecciona y se limpia adecuadamente para eliminar cualquier suciedad o espinas. Luego, se procesa para obtener su extracto o se utiliza directamente en su forma natural, dependiendo de la metodología de aplicación elegida.
- **Aplicación en el tratamiento del agua:** El cactus, ya sea en forma de extracto o en su forma natural, se agrega al agua a tratar. Puede agregarse directamente al agua o mezclarse previamente con agua para formar una solución antes de su adición.
- **Dosificación del cactus:** La dosificación del cactus como coagulante natural variará según la calidad del agua y el nivel de turbidez a tratar. Se recomienda realizar pruebas de dosificación para determinar la cantidad óptima necesaria. Las dosis pueden variar, y generalmente se encuentran en el rango de 10 a 100 mg/L de agua.

- **Coagulación y floculación:** Una vez que el cactus se ha agregado al agua, se produce la coagulación y floculación de las partículas en suspensión. Los componentes activos presentes en el cactus ayudan a neutralizar las cargas eléctricas de las partículas y promueven su aglomeración y formación de flóculos más grandes.
- **Mezcla rápida:** Una vez dosificado el coagulante de cactus, se añade al agua residual y se lleva a cabo una etapa de mezcla rápida. Durante esta etapa, el coagulante se dispersa rápidamente en el agua para promover la interacción entre los compuestos coagulantes y las partículas suspendidas.
- **Decantación y filtración:** Después de la adición del cactus y la formación de flóculos, el agua se deja en reposo para permitir que los flóculos se sedimenten en el fondo del recipiente. Luego, se realiza un proceso de decantación para separar el agua clarificada de los flóculos sedimentados. En algunos casos, puede ser necesario complementar la decantación con procesos de filtración para eliminar partículas más finas.
- **Efectos en la turbidez del agua y otros factores:** Los estudios sobre el uso del cactus como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales son limitados. Sin embargo, se cree que los compuestos presentes en el cactus podrían tener propiedades coagulantes y ayudar a reducir la turbidez del agua al promover la coagulación y floculación de las partículas en suspensión. Además, algunos estudios sugieren que el cactus podría tener efectos

antimicrobianos, lo que podría contribuir a la reducción de bacterias y otros microorganismos presentes en el agua tratada.

Es importante tener en cuenta que la eficacia del cactus como coagulante natural puede variar según la calidad del agua, la dosificación utilizada y otros parámetros específicos del sistema de tratamiento. (Contreras Lozano et al., 2015; David Coello Cedeño, 2021; Gabriel et al., n.d.; Martínez et al., 2003; Mayerlin et al., n.d.)

2.1.5. Algas

Algunas especies de algas, como las algas diatomeas y las algas verdes, contienen sustancias coagulantes. Estas sustancias pueden favorecer la formación de flóculos y la aglutinación de partículas en el agua.

- **Naturaleza de las algas:** Las algas son organismos acuáticos fotosintéticos que se encuentran en diversos cuerpos de agua, como lagos, ríos y océanos. Dentro de las algas, existen diferentes especies que contienen compuestos naturales con propiedades coagulantes, como polisacáridos y proteínas.
- Extracción y preparación:
- **Extracción de algas:** Las algas pueden extraerse de diversas fuentes, como estanques, lagos, ríos o cultivos de algas. Se recolectan y se separan de otros materiales no deseados, como sedimentos y residuos.

- **Limpieza y preparación:** Las algas recolectadas se lavan cuidadosamente para eliminar cualquier impureza y se someten a un proceso de secado o deshidratación para obtener un producto en forma de polvo o escamas. Esto facilita su almacenamiento y uso posterior.
- Dosificación y aplicación:
 - **Dosificación:** La dosificación de las algas puede variar dependiendo de la calidad del agua a tratar y la cantidad de impurezas presentes. Se recomienda realizar pruebas de dosificación para determinar la cantidad adecuada de algas necesaria para lograr la coagulación y floculación eficientes. Por lo general, se utilizan dosis de alrededor de 1 a 20 gramos de algas por litro de agua a tratar.
 - **Preparación de la solución:** El polvo o las escamas de algas se mezclan con agua para preparar una solución. Esta solución puede agregarse directamente al agua a tratar o puede requerir un proceso de dilución previo, dependiendo de las características específicas de las algas utilizadas.
- Coagulación, decantación y filtración:
 - **Coagulación y floculación:** Las algas contienen polisacáridos y proteínas que actúan como agentes coagulantes y floculantes. Estas sustancias tienen la capacidad de neutralizar las cargas eléctricas de las partículas en suspensión presentes en el agua, permitiendo la formación de flóculos más grandes y pesados.

- **Decantación:** Después de la adición de las algas y la agitación adecuada, el agua se deja en reposo para permitir que los flóculos se sedimenten en el fondo del recipiente. Durante este proceso, los flóculos atrapan las partículas en suspensión, lo que lleva a una reducción de la turbidez.

- **Filtración:** Una vez que los flóculos se han asentado, el agua clarificada se puede separar cuidadosamente de la capa de lodo sedimentado en la parte inferior. Para obtener una clarificación adicional, el agua puede pasar por un proceso de filtración utilizando medios como arena, grava o membranas para eliminar cualquier partícula residual.

- Efectos en la turbidez del agua y otros factores:

- ✓ **Reducción de la turbidez:** Las algas actúan como coagulantes y floculantes, lo que permite la formación de flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos atrapan las partículas en suspensión, reduciendo así la turbidez del agua.

- ✓ **Remoción de impurezas:** Además de reducir la turbidez, las algas también pueden ayudar a eliminar otros contaminantes presentes en el agua, como materia orgánica, metales pesados y algunos compuestos químicos.

Es importante destacar que los efectos de las algas en el tratamiento de aguas residuales pueden variar dependiendo de la especie de alga utilizada, las condiciones del

agua a tratar y los procesos de tratamiento específicos implementados. (Ciencias En Innovación Biotecnológica et al., n.d.-a; Cyril Fournieris, n.d.; Ing. Jorge A. Orellana, n.d.)

2.1.6. Quitosano

El quitosano es un polímero natural derivado de la quitina, presente en los exoesqueletos de crustáceos. Tiene propiedades coagulantes debido a su capacidad para neutralizar las cargas eléctricas de las partículas y formar flóculos.

- **Origen y propiedades del quitosano:** El quitosano es un polisacárido que se deriva de la quitina, un componente principal de los caparazones de crustáceos como camarones, langostas y cangrejos. Es un polímero lineal de glucosamina y N-acetilglucosamina. El quitosano tiene propiedades coagulantes debido a su carga positiva y su estructura química.
- **Solubilización y activación del quitosano:** El quitosano es insoluble en agua en su forma natural, por lo que se necesita solubilizarlo antes de utilizarlo como coagulante. Para ello, se puede usar un ácido débil, como ácido acético o ácido láctico, que disminuye el pH del quitosano y permite su solubilidad. Además, es posible activar el quitosano mediante la desacetilación parcial para aumentar su carga positiva y mejorar su eficacia como coagulante.

➤ Extracción y preparación:

- **Extracción de quitosano:** El quitosano se obtiene a partir de la quitina, que se encuentra en los residuos de crustáceos. El proceso de extracción implica la eliminación de proteínas, lípidos y minerales presentes en el exoesqueleto del crustáceo, seguido de una desacetilación para convertir la quitina en quitosano.
 - **Purificación y obtención del polvo:** El quitosano extraído se somete a procesos de purificación para eliminar impurezas y obtener un polvo fino. Este polvo se utiliza posteriormente en el tratamiento de aguas residuales.
- Dosificación y aplicación:
- **Dosificación:** La dosificación del quitosano puede variar dependiendo de la calidad del agua a tratar y la cantidad de impurezas presentes. La cantidad adecuada de quitosano se determina mediante pruebas de dosificación. Por lo general, se recomienda una dosis de 1 a 10 mg por litro de agua a tratar.
 - **Preparación de la solución:** El polvo de quitosano se mezcla con agua para preparar una solución. La solución de quitosano puede agregarse directamente al agua a tratar o puede requerir un proceso de dilución previo, dependiendo de las características específicas del agua y la concentración de quitosano deseada.

➤ Coagulación, decantación y filtración:

- **Coagulación y floculación:** El quitosano actúa como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. Las partículas y contaminantes presentes en el agua tienen cargas eléctricas que pueden hacer que se repelan entre sí, impidiendo su coagulación. El quitosano neutraliza estas cargas, permitiendo que las partículas se unan y formen flóculos más grandes y pesados.
 - **Decantación:** Después de la adición de quitosano y la agitación adecuada, el agua se deja en reposo para permitir que los flóculos formados se sedimenten en el fondo del recipiente. Durante este proceso, los flóculos atrapan las partículas en suspensión y reducen la turbidez del agua.
 - **Filtración:** Una vez que los flóculos se han asentado, el agua clarificada se puede separar cuidadosamente de la capa de lodo sedimentado en la parte inferior del recipiente. Si se requiere una clarificación adicional, el agua puede pasar por un proceso de filtración utilizando medios como arena, grava o membranas para eliminar cualquier partícula residual.
- Efectos en la turbidez del agua y otros factores:
- ✓ **Reducción de la turbidez:** El quitosano tiene la capacidad de coagular y flocular las partículas en suspensión, lo que conduce a una reducción significativa de la turbidez del agua.

- ✓ **Eliminación de contaminantes:** Además de reducir la turbidez, el quitosano puede ayudar a eliminar otros contaminantes presentes en el agua, como materia orgánica, metales pesados y algunos compuestos químicos.

En resumen, el quitosano, como coagulante natural, interactúa con las partículas suspendidas en el agua, formando flóculos que pueden ser separados mediante sedimentación o flotación. Su carga positiva y su capacidad para unir partículas son las principales propiedades que lo hacen efectivo como coagulante natural en el tratamiento de aguas. Es importante tener en cuenta que la eficacia del quitosano en el tratamiento de aguas residuales puede depender de varios factores, como la calidad del agua, la dosificación de quitosano, el pH y otros parámetros específicos del agua a tratar. (Adnan et al., 2017; JOVE Fernando, 2020; Rodríguez Jiménez et al., 2019; Rodríguez-Jiménez et al., 2022; Romero-Sevilla et al., 2018)

2.1.7. Materia orgánica natural

La materia orgánica natural se refiere a los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales, como residuos vegetales, restos de alimentos y otros materiales biodegradables. Estos compuestos pueden tener efectos significativos en la turbidez del agua y otros factores durante el tratamiento de aguas residuales.

- **Composición de la materia orgánica natural:** La materia orgánica natural está compuesta por diversos compuestos orgánicos, como ácidos húmicos y

fúlvicos, lignina, proteínas y polisacáridos. Estos compuestos poseen grupos funcionales que les confieren propiedades coagulantes.

- **Carga superficial y adsorción:** Los compuestos de la materia orgánica natural pueden tener carga negativa o positiva en función del pH y la naturaleza de los grupos funcionales presentes. Esta carga superficial permite la adsorción de los compuestos orgánicos en la superficie de las partículas suspendidas, neutralizando las cargas y promoviendo la agregación.

➤ Extracción y preparación:

La materia orgánica natural se encuentra presente en las aguas residuales como resultado de desechos vegetales, restos de alimentos y otros materiales biológicos. No es necesario un proceso específico de extracción, ya que la materia orgánica natural ya está presente en el agua residual.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de la materia orgánica natural en el tratamiento de aguas residuales puede variar dependiendo de la calidad del agua, la cantidad de materia orgánica presente y los objetivos del tratamiento. No hay una cantidad específica de dosificación, ya que la materia orgánica natural ya está presente en el agua residual.

➤ **Coagulación, decantación y filtración:**

La materia orgánica natural puede afectar la turbidez del agua y otros factores durante el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los procesos relacionados:

- **Coagulación:** La materia orgánica natural puede actuar como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales. Los compuestos orgánicos presentes pueden interactuar con las partículas en suspensión y ayudar a aglomerarlas, formando flóculos más grandes y pesados. Esto contribuye a la reducción de la turbidez del agua al permitir que las partículas se sedimenten más fácilmente.
- **Decantación:** Después de la coagulación, el agua se deja en reposo para permitir que los flóculos se sedimenten en el fondo del recipiente. Durante este proceso, los flóculos atrapan las partículas en suspensión, lo que reduce aún más la turbidez del agua.
- **Filtración:** Una vez que los flóculos se han asentado, el agua clarificada se puede separar cuidadosamente de la capa de lodo sedimentado en la parte inferior del recipiente. Si se requiere una mayor clarificación, el agua puede pasar por un proceso de filtración utilizando medios como arena, grava o membranas para eliminar cualquier partícula residual.

- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:
- ✓ **Reducción de la turbidez:** La coagulación de la materia orgánica natural contribuye a una reducción significativa de la turbidez del agua al formar flóculos más grandes y pesados que se sedimentan más fácilmente.
- ✓ **Remoción de contaminantes:** La materia orgánica natural puede adsorber y atrapar ciertos contaminantes presentes en el agua, como aceites, grasas y algunos compuestos químicos. Esto puede ayudar a eliminar estos contaminantes durante el proceso de coagulación, decantación y filtración.
- ✓ **Efecto de la carga y la estabilidad de las partículas:** Las partículas suspendidas en el agua, como arcillas, coloides y materiales orgánicos, tienen cargas eléctricas en su superficie. Estas cargas generan fuerzas de repulsión entre las partículas, impidiendo su agregación y sedimentación. La presencia de materia orgánica natural con carga opuesta puede contrarrestar estas fuerzas, facilitando la formación de flóculos.
- ✓ **Interacción con otros coagulantes:** En algunos casos, la materia orgánica natural puede actuar en sinergia con otros coagulantes, como sales de aluminio o hierro. La presencia de la materia orgánica puede mejorar la eficiencia de los coagulantes inorgánicos convencionales, reduciendo la dosis requerida y mejorando la calidad del agua tratada.

Es importante tener en cuenta que la eficacia de la materia orgánica natural en el tratamiento de aguas residuales puede depender de varios factores, como la concentración

y composición de la materia orgánica, el pH del agua, la presencia de otros contaminantes y el diseño específico del sistema de tratamiento. (*Bacterias Para Tratamiento de Aguas Residuales. Conceptos Generales*, n.d.; Ramón Zamora et al., 2009)

2.1.8. Alumbre de potasio

El alumbre de potasio, también conocido como sulfato de aluminio y potasio, es un coagulante natural ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Ayuda en la neutralización de las cargas y en la formación de flóculos.

- **Composición del alumbre de potasio:** El alumbre de potasio, también conocido como sulfato de aluminio y potasio, es un compuesto químico que tiene la fórmula $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$. Está compuesto por iones de potasio (K^+), iones de aluminio (Al^{3+}) y iones de sulfato (SO_4^{2-}), así como moléculas de agua.
- **Disociación en solución:** Cuando el alumbre de potasio se disuelve en agua, se disocia en iones de aluminio y iones de potasio. Estos iones son los que desempeñan un papel fundamental en el proceso de coagulación.
- **Carga positiva de los iones de aluminio:** Los iones de aluminio en solución tienen una carga positiva debido a su estructura iónica. Esta carga positiva les permite interactuar con las partículas cargadas negativamente presentes en el agua, como arcillas, coloides, materia orgánica y otros contaminantes suspendidos.

- **Neutralización de cargas y formación de flóculos:** Los iones de aluminio se unen a las partículas cargadas negativamente en el agua, neutralizando sus cargas eléctricas. Esto provoca la aglomeración de las partículas y la formación de flóculos, que son agregados más grandes y pesados.
- **Efecto del pH:** El pH del agua es un factor importante para considerar en el uso del alumbre de potasio como coagulante. En un rango de pH específico, generalmente alrededor de pH 5 a 8, los iones de aluminio tienen una mayor capacidad de neutralizar las cargas y promover la formación de flóculos. Por encima o por debajo de este rango, la eficacia del alumbre de potasio puede disminuir.

➤ Extracción y preparación:

El alumbre de potasio se obtiene a partir de la extracción de minerales de aluminio, como la bauxita. El proceso de extracción implica la trituración y molienda de la bauxita para obtener alúmina. Luego, la alúmina se trata con sulfato de potasio para producir el alumbre de potasio en forma de cristales o polvo.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación del alumbre de potasio en el tratamiento de aguas residuales depende de la calidad del agua, la cantidad de impurezas presentes y los objetivos del tratamiento. La cantidad de alumbre de potasio se mide en función de su contenido de aluminio activo (Al_2O_3). La dosis típica de alumbre de potasio para el tratamiento de aguas residuales varía entre 10 y 100 mg/L, pero puede ajustarse según sea necesario.

➤ Aplicación y coagulación:

El alumbre de potasio se añade al agua a tratar mediante un proceso de dosificación controlada. Se puede realizar mediante diferentes métodos, como la adición directa al agua o mediante la preparación de una solución de alumbre de potasio que se agrega al agua. La mezcla se realiza de manera uniforme para asegurar una distribución adecuada del coagulante en el agua.

El alumbre de potasio actúa como un coagulante en el tratamiento de aguas residuales. Cuando se añade al agua, el sulfato de aluminio presente en el alumbre se hidroliza, liberando iones de aluminio cargados positivamente. Estos iones reaccionan con las partículas en suspensión cargadas negativamente en el agua, neutralizando su carga y formando flóculos.

➤ Decantación y filtración:

Después de la coagulación, el agua se somete a un proceso de decantación. Durante este proceso, los flóculos formados por el alumbre de potasio y las partículas en

suspensión se sedimentan en el fondo del recipiente. La duración de la decantación puede variar, pero generalmente se requiere un tiempo de reposo de varias horas para permitir una sedimentación adecuada.

Una vez que los flóculos se han asentado, se realiza el proceso de filtración. El agua clarificada se separa de la capa de lodo sedimentado mediante métodos de filtración, como el uso de arena, grava o membranas. Estos medios de filtración atrapan las partículas más finas que aún puedan estar presentes en el agua, mejorando aún más su calidad.

➤ **Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:**

El alumbre de potasio tiene varias afectaciones a la turbidez del agua y otros factores en el tratamiento de aguas residuales:

- ✓ **Reducción de la turbidez:** El alumbre de potasio actúa como un agente coagulante que ayuda a reducir la turbidez del agua al favorecer la formación de flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos atrapan las partículas en suspensión, incluyendo sedimentos, arcillas y otros contaminantes, facilitando su posterior eliminación mediante la decantación y filtración.
- ✓ **Remoción de sólidos suspendidos:** El alumbre de potasio ayuda a remover sólidos suspendidos en el agua, como partículas orgánicas e inorgánicas, materia coloidal y microorganismos.

- ✓ **Eliminación de color y sustancias orgánicas:** El alumbre de potasio puede ayudar a reducir el color del agua, así como remover ciertas sustancias orgánicas que contribuyen a la carga contaminante.
- ✓ **Control de pH:** El alumbre de potasio tiene un efecto acidificante en el agua, lo que puede ayudar a ajustar y controlar el pH durante el tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Es fácilmente disponible, económico y relativamente seguro de usar. Además, su efectividad en la neutralización de cargas y formación de flóculos lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones de tratamiento de aguas residuales y potables.

En resumen, el alumbre de potasio funciona como coagulante natural en el tratamiento de aguas mediante la neutralización de cargas y la formación de flóculos. Su capacidad para interactuar con las partículas cargadas negativamente y promover la aglomeración de las mismas facilita la eliminación de los contaminantes suspendidos en el agua. El alumbre de potasio es una opción eficaz y ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas debido a su disponibilidad, costo razonable y eficacia en la coagulación. Es importante tener en cuenta que la eficacia del alumbre de potasio puede depender de diversos factores, como la calidad del agua, la dosificación adecuada, el pH y otros parámetros específicos del agua a tratar. (Barajasclaudia, 2015; BIORACOL, n.d.; Camargo Valero & Eduardo Cruz Torres, n.d.)

2.1.9. Semillas de Cassia fistula

Las semillas de Cassia fistula, conocidas como "cañafístula", contienen sustancias con propiedades coagulantes. Estas sustancias pueden ayudar en la aglutinación de partículas y la clarificación del agua.

- **Composición de las semillas de Cassia fistula:** Las semillas de Cassia fistula, también conocidas como árbol del oro o canafístula, contienen compuestos químicos que les confieren propiedades coagulantes. Estos compuestos incluyen polisacáridos, taninos y proteínas.

➤ Extracción y preparación:

Las Semillas de Cassia fistula se obtienen del árbol Cassia fistula, que es nativo de regiones tropicales y subtropicales. Para su extracción, las vainas maduras de las semillas se recolectan y se abren para obtener las semillas en su interior. Estas semillas se lavan para eliminar impurezas y se secan al sol o mediante un proceso de secado controlado. Posteriormente, se muelen hasta obtener un polvo fino.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de las Semillas de Cassia fistula en el tratamiento de aguas residuales varía según la calidad del agua y los objetivos del tratamiento. La cantidad recomendada

generalmente oscila entre 50 y 500 mg/L, pero puede ajustarse según sea necesario. La dosis óptima se determina mediante pruebas de jarra y análisis de laboratorio.

La aplicación de las Semillas de Cassia fistula en el agua a tratar se puede realizar de varias formas:

- **Método directo:** Las semillas en polvo se agregan directamente al agua a tratar, preferiblemente después de haber sido mezcladas con agua para formar una suspensión. La mezcla debe realizarse de manera uniforme para asegurar una distribución adecuada del coagulante.
- **Preparación de extracto acuoso:** Se puede preparar un extracto acuoso de las semillas de Cassia fistula hirviéndolas en agua durante un período determinado. El extracto acuoso resultante se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales.

➤ **Coagulación, decantación y filtración:**

Las Semillas de Cassia fistula contienen sustancias naturales que actúan como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales. Estas sustancias ayudan a aglutinar las partículas en suspensión presentes en el agua, facilitando su posterior remoción.

Después de la aplicación de las Semillas de Cassia fistula, se lleva a cabo el proceso de coagulación. Durante esta etapa, las partículas en suspensión se agrupan y forman flóculos más grandes debido a las propiedades coagulantes de las semillas. Estos flóculos

atrapan las impurezas presentes en el agua, como sedimentos, arcillas, materia orgánica y microorganismos.

A continuación, el agua coagulada se somete a un proceso de decantación, donde los flóculos formados se sedimentan en el fondo del recipiente. La duración de la decantación puede variar, pero generalmente se requiere un tiempo de reposo de varias horas para permitir una sedimentación adecuada.

Finalmente, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración para eliminar cualquier partícula fina restante. Esto se puede lograr mediante el uso de medios de filtración como arena, grava o sistemas de filtración de membrana.

- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:
- ✓ Las Semillas de Cassia fistula tienen efectos positivos en la reducción de la turbidez del agua debido a su capacidad para formar flóculos y aglutinar partículas en suspensión. Estas semillas también pueden ayudar a remover impurezas como sedimentos, arcillas, materia orgánica y microorganismos.
- ✓ Además de la turbidez, las Semillas de Cassia fistula pueden tener un impacto en otros factores del agua, como la remoción de color, la reducción de la carga orgánica y la mejora de la claridad general del agua tratada.
- ✓ Son fuentes renovables y biodegradables, lo que las hace más amigables con el medio ambiente que los coagulantes químicos convencionales. Además, su uso

puede ayudar a reducir la dependencia de productos químicos sintéticos en el tratamiento de aguas.

En resumen, las semillas de *Cassia fistula* funcionan como coagulante natural en el tratamiento de aguas mediante la neutralización de cargas y la formación de flóculos. Sus compuestos coagulantes, como polisacáridos, taninos y proteínas, tienen una carga positiva que les permite interactuar con las partículas cargadas negativamente en el agua. La formación de flóculos facilita la eliminación de los contaminantes suspendidos, permitiendo obtener un agua tratada de mayor calidad. El uso de las semillas de *Cassia fistula* como coagulante natural presenta ventajas ambientales al ser una fuente renovable y biodegradable. (Corto et al., 2015; L. C. Guzmán et al., 2015; Salome Arcos & Salvatierra Huaman, 2019; Tarón-Dunoyer, Guzmán-Carrillo, & Barros-Portnoy, 2017; Tarón-Dunoyer, Guzmán-Carrillo, Barros-Portnoy, et al., 2017)

2.1.10. Residuos de biomasa

Algunos residuos de biomasa, como la cáscara de arroz y el bagazo de caña de azúcar, contienen compuestos coagulantes naturales. Estos compuestos pueden ser utilizados como alternativas para el tratamiento de aguas residuales.

Cabe mencionar que la efectividad y dosificación de estos coagulantes naturales pueden variar según las características del agua y el proceso de tratamiento utilizado. Es importante realizar pruebas y ajustes adecuados para obtener los mejores resultados en la clarificación del agua.

- **Residuos de biomasa como fuente de coagulantes:** Los residuos de biomasa, como cáscaras de frutas, cáscaras de nueces, aserrín, bagazo de caña de azúcar, entre otros, pueden ser utilizados como fuentes de coagulantes naturales. Estos residuos contienen compuestos orgánicos que poseen propiedades coagulantes.

➤ Extracción y preparación:

Los residuos de biomasa se obtienen a través del proceso de tratamiento de aguas residuales, en el cual se separa y concentra la materia orgánica sólida. Estos residuos generalmente contienen lodos y fangos resultantes de la sedimentación, flotación o deshidratación de las aguas residuales.

Para su preparación, los residuos de biomasa se someten a un proceso de deshidratación y secado. Esto se puede lograr mediante métodos físicos, como la filtración, centrifugación o el uso de equipos de deshidratación mecánica. El objetivo es reducir el contenido de agua de los residuos y obtener una consistencia adecuada para su posterior uso en el tratamiento de aguas residuales.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de los residuos de biomasa en el tratamiento de aguas residuales varía según la calidad del agua y los objetivos del tratamiento. La cantidad recomendada suele ser determinada mediante pruebas de jarra y análisis de laboratorio. A continuación, se describen algunas formas comunes de aplicación:

- **Método directo:** Los residuos de biomasa deshidratados y secos se agregan directamente al agua a tratar. Se pueden mezclar con agua para formar una suspensión o agregarse en forma de polvo. La dosificación debe ser realizada de manera uniforme para garantizar una distribución adecuada en el agua.
- **Preparación de extracto:** Los residuos de biomasa se pueden utilizar para preparar un extracto líquido. En este caso, se mezclan con agua y se agitan para extraer los componentes solubles. El extracto resultante se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales.

➤ Coagulación, decantación y filtración:

Los residuos de biomasa contienen compuestos orgánicos que actúan como coagulantes en el tratamiento de aguas residuales. Estos compuestos ayudan a aglutinar y flocular las partículas en suspensión presentes en el agua.

Después de la aplicación de los residuos de biomasa, se lleva a cabo el proceso de coagulación. Durante esta etapa, los compuestos coagulantes presentes en los residuos ayudan a formar flóculos y aglutinar las partículas en suspensión. Estos flóculos atrapan impurezas como sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos.

Luego de la coagulación, el agua coagulada se somete a un proceso de decantación, donde los flóculos formados se sedimentan en el fondo del recipiente. El tiempo de decantación puede variar, pero generalmente se requiere un período de reposo prolongado para permitir la sedimentación adecuada de los flóculos.

Finalmente, se realiza la etapa de filtración, donde el agua clarificada se pasa a través de sistemas de filtración para eliminar cualquier partícula o material en suspensión residual. Esto puede incluir la filtración mediante lechos de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, según la calidad requerida del agua tratada.

➤ Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:

Los residuos de biomasa pueden tener efectos significativos en la turbidez del agua y otros factores durante el tratamiento de aguas residuales. Algunas de las afectaciones comunes son:

- **Reducción de la turbidez:** Los compuestos coagulantes presentes en los residuos de biomasa ayudan a aglutinar y flocular las partículas en suspensión, lo que conduce a una reducción de la turbidez del agua tratada.
- **Remoción de sólidos suspendidos:** Los residuos de biomasa facilitan la formación de flóculos, los cuales atrapan y remueven sólidos suspendidos presentes en el agua, como sedimentos, materia orgánica y microorganismos.
- **Mejora de la claridad del agua:** El uso de residuos de biomasa puede mejorar la claridad del agua tratada al remover partículas y material en suspensión que contribuyen a la apariencia turbia del agua.
- Estos residuos son fuentes renovables y pueden provenir de subproductos agrícolas o forestales, lo que reduce la dependencia de productos químicos

sintéticos. Además, al utilizar residuos de biomasa, se promueve la reutilización y el reciclaje de materiales, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental.

Es importante tener en cuenta que la dosificación y los efectos de los residuos de biomasa pueden variar según la calidad del agua y los objetivos específicos del tratamiento. (Andrea et al., n.d.; Ciencias En Innovación Biotecnológica et al., n.d.-b; Dr. Germán Buitrón Méndez, 2018)

2.2. Floculantes naturales

2.2.1. Almidón

El almidón es un polisacárido natural que se encuentra en varios alimentos, como el maíz y la patata. Actúa como un floculante natural al agregar viscosidad al agua y promover la formación de flóculos más grandes.

- **Composición y estructura del almidón:** El almidón es un polisacárido de origen vegetal que se encuentra en diversas fuentes, como el maíz, la papa, el trigo y la yuca. Está compuesto principalmente por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una cadena lineal de glucosa, mientras que la amilopectina es una cadena ramificada.
- **Propiedades floculantes del almidón:** El almidón tiene propiedades floculantes debido a su capacidad para adsorber partículas en suspensión en el agua. Las moléculas de almidón tienen regiones hidrofílicas (afinidad por el

agua) y regiones hidrofóbicas (repelencia al agua). Esto permite que el almidón se adsorba tanto en la superficie de las partículas suspendidas como en el agua circundante.

- **Adsorción en la superficie de partículas:** El almidón se adsorbe en la superficie de las partículas en suspensión debido a las interacciones electrostáticas y las fuerzas de Van der Waals. La adsorción del almidón provoca la formación de puentes entre las partículas, lo que facilita la aglomeración y la formación de flóculos.
- **Efecto de carga y tamaño de las partículas:** El almidón es más efectivo en la floculación de partículas cargadas negativamente, como arcillas y coloides, debido a su carga positiva en solución. Además, el tamaño de las partículas también influye en la eficiencia del almidón como floculante. Partículas más pequeñas pueden requerir dosis más altas de almidón para lograr una floculación eficaz.

➤ Extracción y preparación:

El almidón se extrae de fuentes vegetales ricas en este polisacárido, como las papas, el maíz o el trigo. El proceso de extracción generalmente implica la trituración o molienda de la fuente vegetal para liberar los gránulos de almidón. Luego, se realiza una separación del almidón de otros componentes de la planta, como proteínas y fibras, mediante lavado

y sedimentación. Finalmente, el almidón se seca y se muele en forma de polvo fino para su posterior uso en el tratamiento de aguas residuales.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación del almidón en el tratamiento de aguas residuales varía según las características del agua a tratar y los objetivos del tratamiento. La cantidad recomendada se determina mediante pruebas de jarra y análisis de laboratorio. A continuación, se describen los pasos comunes para la aplicación del almidón:

- **Preparación de la solución:** El almidón se mezcla con agua para preparar una solución acuosa. La concentración de la solución de almidón dependerá de la dosificación requerida y puede variar entre el 0.1% y el 1% en peso.
- **Agitación y mezcla:** La solución de almidón se agita o se mezcla vigorosamente para asegurar una distribución uniforme del almidón en el agua a tratar. Esto ayuda a asegurar una coagulación y floculación efectivas.

➤ Floculación, decantación y filtración:

El almidón actúa como un agente floculante en el tratamiento de aguas residuales, es decir, ayuda a unir las partículas en suspensión presentes en el agua formando flóculos más grandes. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Adición de la solución de almidón:** La solución de almidón se agrega al agua a tratar, generalmente en el punto de entrada o en una etapa previa al proceso de coagulación.
 - **Agitación y mezcla:** Después de la adición del almidón, se realiza una agitación o mezcla suave para permitir que el almidón se distribuya de manera uniforme en el agua y entre en contacto con las partículas en suspensión.
 - **Floculación:** El almidón actúa como un agente floculante, ayudando a unir las partículas pequeñas en flóculos más grandes. Esto facilita la sedimentación de los flóculos y la remoción de las partículas en suspensión.
 - **Decantación:** Después de la floculación, el agua tratada se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este proceso, los flóculos más grandes se asientan en el fondo del tanque, formando un lodo sedimentado, mientras que el agua clarificada se encuentra en la parte superior.
 - **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.
- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:

El almidón tiene un impacto significativo en la reducción de la turbidez del agua y otros factores durante el tratamiento de aguas residuales. Algunas de las afectaciones comunes son:

- ✓ **Coagulación y floculación:** El almidón actúa como un agente floculante al unir las partículas en suspensión, lo que conduce a una reducción de la turbidez del agua tratada.
- ✓ **Remoción de sólidos suspendidos:** El proceso de floculación con almidón facilita la formación de flóculos más grandes, lo que permite la remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua, como sedimentos, materia orgánica y microorganismos.
- ✓ **Mejora de la claridad del agua:** El almidón contribuye a mejorar la claridad del agua tratada al remover partículas y material en suspensión que afectan la apariencia turbia del agua.
- ✓ El almidón es una opción atractiva como floculante natural debido a su disponibilidad, bajo costo y baja toxicidad. Además, el almidón es biodegradable, lo que minimiza el impacto ambiental. Su uso como floculante natural puede reducir la dependencia de floculantes químicos sintéticos y promover la sostenibilidad en el tratamiento de aguas residuales.

En resumen, el almidón funciona como floculante natural en el tratamiento de aguas al adsorberse en las partículas suspendidas y promover la formación de flóculos. Su capacidad de formar puentes entre las partículas facilita la aglomeración y la eliminación

de los contaminantes suspendidos en el agua. El almidón ofrece ventajas ambientales y económicas, lo que lo convierte en una opción atractiva como floculante natural en el tratamiento de aguas. (*Dialnet-TratamientoDeAguasResidualesDelProcesoDeExtraccion-4845176*, n.d.; Nacional Abierta Y A Distancia -Unad, 2017; Vinueza, n.d.)

2.2.2. Polisacáridos de algas

Algunas algas, como el agar y la carragenina, contienen polisacáridos que tienen propiedades floculantes. Estos polisacáridos pueden ayudar a aglutinar las partículas en suspensión y facilitar su separación del agua.

- **Composición y estructura de los polisacáridos de algas:** Los polisacáridos de algas son macromoléculas compuestas principalmente de azúcares, como glucosa, galactosa, manosa y ácido glucurónico. Los principales polisacáridos de algas utilizados como floculantes son el alginato, el carragenano y el agar. Cada tipo de polisacárido tiene una estructura única y propiedades específicas.

➤ Extracción y preparación:

Los polisacáridos de algas se extraen de diferentes especies de algas marinas, como el alga marrón (por ejemplo, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*) o el alga roja (por ejemplo, *Gelidium* spp., *Gracilaria* spp.). El proceso de extracción implica generalmente los siguientes pasos:

- **Recolección de las algas:** Las algas marinas son recolectadas manualmente o mediante cosecha controlada en áreas costeras.
- **Limpieza y lavado:** Las algas recolectadas se limpian y lavan para eliminar cualquier impureza o contaminante superficial.
- **Extracción del polisacárido:** Las algas limpias se someten a un proceso de extracción en el cual se utilizan diferentes métodos, como la hidrólisis ácida o enzimática, para obtener el polisacárido deseado. Este proceso puede incluir etapas de filtración, concentración y secado para obtener un polvo o un producto final líquido.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de los polisacáridos de algas en el tratamiento de aguas residuales depende de varios factores, como la calidad del agua a tratar, el tipo y concentración de las impurezas presentes, y los objetivos específicos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para la aplicación de los polisacáridos de algas:

- **Preparación de la solución:** Los polisacáridos de algas se disuelven en agua para preparar una solución acuosa. La concentración de la solución puede variar dependiendo de la dosificación requerida, pero generalmente se encuentra en el rango de 0.1% a 1% en peso.

- **Agitación y mezcla:** La solución de polisacáridos se agita o se mezcla vigorosamente para asegurar una distribución uniforme en el agua a tratar. Esto ayuda a que los polisacáridos entren en contacto con las partículas y sustancias presentes en el agua.

➤ Floculación, decantación y filtración:

Los polisacáridos de algas actúan como agentes coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Adición de la solución de polisacáridos:** La solución de polisacáridos se agrega al agua a tratar, generalmente en una etapa temprana del proceso de tratamiento, para permitir una mezcla adecuada.
- **Floculación:** Los polisacáridos de algas se unen a las partículas y sustancias en el agua, formando flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos capturan y aglutinan las impurezas suspendidas, como partículas sólidas, materia orgánica y microorganismos.
- **Propiedades floculantes de los polisacáridos de algas:** Los polisacáridos de algas tienen la capacidad de adsorber partículas en suspensión en el agua. Esto se debe a su estructura química, que les confiere carga negativa en solución y les permite interactuar con partículas cargadas positivamente en el agua. Los polisacáridos de algas presentan grupos funcionales, como grupos hidroxilo y

carboxilo, que son responsables de las interacciones electrostáticas con las partículas.

- **Mecanismos de floculación:** Los polisacáridos de algas actúan como agentes floculantes al formar puentes entre las partículas en suspensión. Cuando se agregan al agua, los polisacáridos de algas se adsorben en la superficie de las partículas y establecen enlaces físicos y electrostáticos entre ellas. Estos enlaces permiten la aglomeración de las partículas en flóculos más grandes y pesados, facilitando su sedimentación o separación del agua.
- **Influencia de las propiedades del polisacárido:** Las propiedades del polisacárido, como su peso molecular, grado de ramificación y carga superficial, influyen en su capacidad floculante. Por ejemplo, polisacáridos de mayor peso molecular tienden a formar flóculos más grandes, mientras que aquellos con mayor grado de ramificación pueden tener una mejor capacidad de adsorción en la superficie de las partículas.
- **Decantación:** Después de la floculación, el agua tratada se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este proceso, los flóculos más grandes se asientan en el fondo del tanque, formando un lodo sedimentado, mientras que el agua clarificada se encuentra en la parte superior.
- **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el

uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.

➤ **Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:**

Los polisacáridos de algas tienen un impacto significativo en la reducción de la turbidez del agua y otros factores durante el tratamiento de aguas residuales. Algunas de las afectaciones comunes son:

- ✓ **Coagulación y floculación:** Los polisacáridos de algas actúan como agentes coagulantes y floculantes al unir las partículas y sustancias en suspensión, lo que conduce a una reducción de la turbidez del agua tratada.
- ✓ **Remoción de sólidos suspendidos:** El proceso de floculación con polisacáridos de algas facilita la formación de flóculos más grandes, lo que permite la remoción de sólidos suspendidos presentes en el agua, como sedimentos, materia orgánica y microorganismos.
- ✓ **Mejora de la claridad del agua:** Los polisacáridos de algas contribuyen a mejorar la claridad del agua tratada al remover partículas y material en suspensión que afectan la apariencia turbia del agua.
- ✓ Los polisacáridos de algas ofrecen varias ventajas en comparación con los floculantes químicos convencionales. Son de origen natural y renovable, lo que reduce el impacto ambiental. Además, son biodegradables, lo que facilita su

eliminación después del tratamiento. También pueden ser menos tóxicos y más seguros para su uso en aplicaciones de tratamiento de aguas.

En resumen, los polisacáridos de algas funcionan como floculantes naturales al adsorberse en las partículas en suspensión y formar puentes entre ellas, favoreciendo la formación de flóculos. Su composición química y estructura les confieren propiedades floculantes y su uso presenta ventajas ambientales y de seguridad. Es importante tener en cuenta que la dosificación y los efectos de los polisacáridos de algas pueden variar según las características del agua y los objetivos específicos del tratamiento. (Abalde et al., 2020; Rubén Darío Candela Orduz, 2016; Virginia Casas Arrojo, 2023)

2.2.3. Goma de guar

La goma de guar, extraída de la planta *Cyamopsis tetragonoloba*, es un floculante natural utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Tiene la capacidad de formar flóculos y facilitar la sedimentación de las partículas suspendidas.

- **Origen y composición de la goma de guar:** La goma de guar es un polisacárido natural obtenido de las semillas del arbusto *Cyamopsis tetragonoloba*. Está compuesta principalmente por unidades de manosa y galactosa, y tiene una estructura ramificada.

➤ Extracción y preparación:

La goma de guar se extrae de las semillas del arbusto *Cyamopsis tetragonoloba*, que se cultiva principalmente en la India y Pakistán. El proceso de extracción de la goma de guar implica los siguientes pasos:

- **Recolección de las semillas:** Las semillas de guar se cosechan y se separan de las vainas que las contienen.
- **Limpieza y trituración:** Las semillas recolectadas se someten a un proceso de limpieza para eliminar impurezas y se trituran en polvo o se dividen en fragmentos más pequeños.
- **Extracción de la goma:** El polvo o los fragmentos de semilla se mezclan con agua y se agitan vigorosamente para extraer la goma de guar soluble en agua. Luego, se filtra la mezcla para separar la goma de guar del residuo sólido.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de la goma de guar en el tratamiento de aguas residuales depende de varios factores, como la calidad del agua, la concentración de las impurezas y los objetivos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para la aplicación de la goma de guar:

- **Preparación de la solución:** La goma de guar se disuelve en agua para preparar una solución acuosa. La concentración de la solución puede variar

dependiendo de la dosificación requerida, pero generalmente se encuentra en el rango de 0.1% a 1% en peso.

- **Agitación y mezcla:** La solución de goma de guar se agita o se mezcla para asegurar una distribución uniforme en el agua a tratar. Esto ayuda a que la goma de guar entre en contacto con las partículas y sustancias presentes en el agua.

➤ Floculación, decantación y filtración:

La goma de guar actúa como agente coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Adición de la solución de goma de guar:** La solución de goma de guar se agrega al agua a tratar, generalmente en una etapa temprana del proceso de tratamiento. Se agita para asegurar una mezcla adecuada.
- **Floculación:** La goma de guar se une a las partículas y sustancias en el agua, formando flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos capturan y aglutinan las impurezas suspendidas, como partículas sólidas, materia orgánica y microorganismos.
- **Propiedades floculantes de la goma de guar:** La goma de guar posee propiedades floculantes debido a su capacidad de adsorber partículas en

suspensión en el agua. Esto se debe a la presencia de grupos funcionales hidroxilo en su estructura, que le confieren carga negativa y le permiten interactuar con partículas cargadas positivamente.

- **Mecanismo de floculación:** Cuando la goma de guar se añade al agua, se adsorbe en la superficie de las partículas en suspensión y forma puentes entre ellas. Estos puentes intermoleculares ayudan a aglomerar las partículas, formando flóculos más grandes y pesados. La goma de guar también puede modificar la superficie de las partículas, haciéndolas más hidrofóbicas y facilitando su aglomeración.
- **Decantación:** Después de la floculación, el agua tratada se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este proceso, los flóculos más grandes se asientan en el fondo del tanque, formando un lodo sedimentado, mientras que el agua clarificada se encuentra en la parte superior.
- **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.

➤ Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:

La goma de guar tiene un impacto significativo en la reducción de la turbidez del agua y otros factores durante el tratamiento de aguas residuales. Algunas de las afectaciones comunes son:

- ✓ **Coagulación y floculación:** La goma de guar actúa como un agente coagulante y floculante eficaz, promoviendo la formación de flóculos más grandes que pueden capturar y aglutinar las partículas en suspensión, mejorando así la claridad del agua tratada.
- ✓ **Remoción de sólidos suspendidos:** El proceso de floculación con goma de guar permite la remoción de sólidos suspendidos en el agua, incluyendo sedimentos, materia orgánica y microorganismos.
- ✓ **Mejora de la eficiencia de la decantación:** Los flóculos formados por la goma de guar facilitan la sedimentación de las impurezas en el agua durante la etapa de decantación, lo que resulta en una separación más eficiente entre el agua clarificada y los sedimentos.
- ✓ **Efecto de la concentración y dosificación:** La eficacia de la goma de guar como floculante depende de su concentración y dosificación. Una concentración óptima de goma de guar asegura una buena adsorción en las partículas y una formación adecuada de flóculos. Es importante realizar

pruebas de jarra o ensayos piloto para determinar la dosis adecuada en cada aplicación específica.

- ✓ **Interacción con otros floculantes:** La goma de guar puede utilizarse de forma individual o en combinación con otros floculantes naturales o químicos para mejorar su eficacia. La combinación de diferentes floculantes puede potenciar los efectos de floculación y adaptarse a las características específicas del agua a tratar.
- ✓ La goma de guar presenta varias ventajas como floculante natural. Es de origen natural y renovable, lo que la hace más sostenible que los floculantes químicos convencionales. Además, es biodegradable y no tóxica, lo que minimiza su impacto ambiental. La goma de guar también puede ser más económica en comparación con otros floculantes, lo que la convierte en una opción atractiva desde el punto de vista económico.

En resumen, la goma de guar funciona como floculante natural en el tratamiento de aguas al adsorberse en las partículas en suspensión y formar puentes entre ellas. Su capacidad de aglomerar y sedimentar las partículas la hace eficaz en la clarificación del agua y presenta ventajas ambientales y económicas en comparación con los floculantes químicos convencionales. Es importante tener en cuenta que la dosificación y los efectos de la goma de guar pueden variar según las características del agua y los objetivos específicos del tratamiento. (Carpinteyro Urbán, 2016; Hugo Matías Jeldres Valenzuela, 2017; QUIMINET, 2021; Röder et al., 2011)

2.2.4. Celulosa

La celulosa es un polisacárido presente en las plantas y tiene propiedades floculantes. Puede ayudar a aglutinar las partículas en el agua y promover su asentamiento.

- **Composición y estructura de la celulosa:** La celulosa es un polisacárido estructural que se encuentra ampliamente en la naturaleza, principalmente en las paredes celulares de las plantas. Está compuesta por unidades de glucosa que forman largas cadenas lineales.

➤ Extracción y preparación:

La celulosa es un polímero que se encuentra en las paredes celulares de las plantas. Para su uso en el tratamiento de aguas residuales, se puede obtener de diferentes fuentes, como madera, algodón, paja de cereales, entre otros. A continuación, se describen los pasos generales de extracción y preparación de la celulosa:

- **Obtención de la materia prima:** Dependiendo de la fuente seleccionada, se recolecta y procesa la materia prima para obtener celulosa pura. Por ejemplo, en el caso de la madera, se realiza un proceso de triturado y desfibrado para obtener la celulosa en forma de fibras.
- **Tratamiento químico:** La celulosa puede someterse a un tratamiento químico para eliminar impurezas y mejorar su pureza y calidad. Esto puede incluir procesos de blanqueo y purificación.

- **Molienda y pulverización:** La celulosa se muele y pulveriza para obtener un polvo fino que es más fácil de disolver y dispersar en el agua.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de la celulosa en el tratamiento de aguas residuales depende de varios factores, como la calidad del agua, la concentración de las impurezas y los objetivos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para la aplicación de la celulosa:

- **Preparación de la solución:** La celulosa se disuelve en agua para preparar una solución acuosa. La concentración de la solución puede variar dependiendo de la dosificación requerida, pero generalmente se encuentra en el rango de 0.1% a 1% en peso.
- **Agitación y mezcla:** La solución de celulosa se agita o se mezcla para asegurar una distribución uniforme en el agua a tratar. Esto ayuda a que la celulosa se disperse y entre en contacto con las partículas y sustancias presentes en el agua.

➤ Floculación, decantación y filtración:

La celulosa actúa como agente coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Adición de la solución de celulosa:** La solución de celulosa se agrega al agua a tratar, generalmente en una etapa temprana del proceso de tratamiento. Se agita para asegurar una mezcla adecuada.
- **Floculación:** La celulosa se une a las partículas y sustancias en el agua, formando flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos capturan y aglutinan las impurezas suspendidas, como partículas sólidas, materia orgánica y microorganismos.
- **Propiedades floculantes de la celulosa:** La celulosa tiene propiedades floculantes debido a su capacidad para adsorber partículas en suspensión en el agua. Su estructura química le confiere carga negativa en solución y le permite interactuar con partículas cargadas positivamente.
- **Mecanismo de floculación:** Cuando se añade celulosa al agua, se adsorbe en la superficie de las partículas en suspensión y forma puentes entre ellas. Estos puentes, también conocidos como puentes de celulosa, ayudan a aglomerar las partículas y formar flóculos más grandes y pesados. Además, la celulosa puede aumentar la hidrofobicidad de las partículas, facilitando su aglomeración.

- **Decantación:** Después de la floculación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este tiempo, los flóculos más grandes se sedimentan en el fondo, formando un lodo. El agua clarificada se encuentra en la parte superior y se retira para su posterior tratamiento.
- **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.
- **Tipos de celulosa utilizados como floculantes:** En el tratamiento de aguas, se utilizan diferentes tipos de celulosa como floculantes naturales. Estos incluyen celulosa microcristalina, carboximetilcelulosa (CMC), etilcelulosa y otros derivados de celulosa. Cada tipo de celulosa puede tener diferentes propiedades y aplicaciones específicas en el tratamiento de aguas.

➤ Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:

La celulosa tiene un impacto significativo en la reducción de la turbidez del agua y otros factores durante el tratamiento de aguas residuales. Algunas de las afectaciones comunes son:

- **Coagulación y floculación:** La celulosa ayuda a formar flóculos más grandes y pesados, lo que mejora la capacidad de captura y aglutinación de partículas

suspendidas en el agua. Esto resulta en una reducción de la turbidez y la remoción de sustancias indeseables.

- **Remoción de sólidos suspendidos:** La floculación con celulosa permite la remoción eficiente de sólidos suspendidos, incluyendo partículas finas y coloides presentes en el agua.
 - **Mejora de la eficiencia de la decantación:** Los flóculos formados por la celulosa facilitan la sedimentación de las impurezas durante la etapa de decantación, lo que resulta en una separación más eficiente entre el agua clarificada y los sedimentos.
 - **Influencia de las condiciones de tratamiento:** La eficacia de la celulosa como floculante natural puede verse afectada por las condiciones de tratamiento, como el pH del agua, la temperatura, la concentración de celulosa y la presencia de otros compuestos. Es importante optimizar las condiciones de dosificación y realizar pruebas de jarra o ensayos piloto para determinar la dosis adecuada de celulosa en cada aplicación específica.
- ✓ Es de origen natural y renovable, lo que la hace más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Además, la celulosa es biodegradable, no tóxica y no genera subproductos químicos indeseables durante el tratamiento de aguas. También puede ser más económica en comparación con otros floculantes, lo que la convierte en una opción atractiva desde el punto de vista económico.

Es importante tener en cuenta que la dosificación y los efectos de la celulosa pueden variar según las características del agua y los objetivos específicos del tratamiento.

(Ascensión Sanz Tejedor, n.d.; *Dialnet-*

TratamientoDeAguasResidualesDelProcesoDeExtraccion-4845176 (1), n.d.; Mónica & Sardi, n.d.; ProMient, n.d.)

2.2.5. Quitosano

Además de ser un coagulante natural, el quitosano también puede actuar como floculante. Este polímero natural tiene la capacidad de aglutinar partículas y facilitar su separación del agua.

- **Origen y composición del quitosano:** El quitosano es un polisacárido natural que se obtiene a partir de la quitina, que es un polímero presente en los exoesqueletos de crustáceos como camarones, cangrejos y langostas. El quitosano se forma mediante la desacetilación de la quitina, lo que resulta en una estructura polimérica de glucosamina.

➤ Extracción y preparación:

La extracción del quitosano implica los siguientes pasos:

- **Obtención de la quitina:** Se extrae la quitina de los exoesqueletos de los crustáceos mediante un proceso de molienda y desproteinización.

- **Desacetilación:** La quitina se somete a un proceso de desacetilación mediante tratamientos químicos o enzimáticos para convertirla en quitosano. Este proceso implica la eliminación de los grupos acetilos de la molécula de quitina.
- **Purificación:** El quitosano obtenido se purifica mediante filtración, lavado y secado para obtener un producto final de alta calidad.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de quitosano en el tratamiento de aguas residuales depende de factores como la calidad del agua, el grado de contaminación y los objetivos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para su aplicación:

- **Preparación de la solución:** El quitosano se disuelve en agua para obtener una solución acuosa. La concentración de la solución puede variar, pero generalmente se encuentra en el rango de 0.1% a 1% en peso.
- **Mezcla y agitación:** La solución de quitosano se agita o se mezcla para asegurar una distribución uniforme en el agua a tratar. Esto permite que el quitosano se disperse y entre en contacto con las partículas y sustancias presentes en el agua.

➤ Floculación, decantación y filtración:

El quitosano actúa como agente coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Adición de la solución de quitosano:** La solución de quitosano se agrega al agua a tratar, generalmente en una etapa temprana del proceso de tratamiento. Se agita para asegurar una mezcla adecuada.
- **Floculación:** El quitosano se une a las partículas y sustancias en el agua, formando flóculos más grandes y pesados. Estos flóculos capturan y aglutinan las impurezas suspendidas, como partículas sólidas, materia orgánica y microorganismos.
- **Propiedades floculantes del quitosano:** El quitosano tiene propiedades floculantes debido a su estructura química única y a su carga positiva en solución. Esta carga positiva le permite interactuar con partículas cargadas negativamente presentes en el agua, como arcillas, coloides y materia orgánica.
- **Decantación:** Después de la floculación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este tiempo, los flóculos más grandes se sedimentan en el fondo, formando un lodo. El agua clarificada se encuentra en la parte superior y se retira para su posterior tratamiento.

- **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.

➤ Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:

El quitosano tiene varias afectaciones en el agua durante el tratamiento de aguas residuales:

- ✓ **Coagulación y floculación:** El quitosano se une a las partículas y sustancias en el agua, facilitando la formación de flóculos más grandes y pesados. Esto resulta en una reducción significativa de la turbidez del agua al permitir una mejor separación de las partículas suspendidas.
- ✓ **Remoción de sustancias orgánicas:** El quitosano tiene la capacidad de adsorber y remover sustancias orgánicas presentes en el agua, incluyendo compuestos orgánicos disueltos y materia orgánica en suspensión.
- ✓ **Actividad antimicrobiana:** El quitosano también exhibe propiedades antimicrobianas, lo que ayuda a inhibir el crecimiento de bacterias y otros microorganismos en el agua tratada.
- **Influencia del grado de desacetilación y la masa molecular:** El grado de desacetilación del quitosano, que determina la proporción de grupos amino

libres en su estructura, y la masa molecular del quitosano pueden afectar su eficacia como floculante. Un mayor grado de desacetilación y una mayor masa molecular suelen asociarse con una mayor capacidad de floculación.

- **Interacción con otros floculantes:** El quitosano puede utilizarse de forma individual o en combinación con otros floculantes naturales o químicos para mejorar su eficacia. La combinación de diferentes floculantes puede potenciar los efectos de floculación y adaptarse a las características específicas del agua a tratar.
- ✓ El quitosano presenta varias ventajas como floculante natural en comparación con los floculantes químicos convencionales. Es de origen natural y renovable, lo que la hace más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Además, el quitosano es biodegradable, no tóxico y no genera subproductos químicos indeseables durante el tratamiento de aguas. También se ha demostrado que el quitosano puede mejorar la eliminación de contaminantes orgánicos y metales pesados en el agua.

En resumen, el quitosano funciona como floculante natural en el tratamiento de aguas al adsorberse en las partículas en suspensión y formar puentes entre ellas. Su capacidad de aglomerar y sedimentar las partículas la hace eficaz en la clarificación del agua y presenta ventajas ambientales y económicas en comparación con los floculantes químicos convencionales. (Adnan et al., 2017; JOVE Fernando, 2020; Rodríguez Jiménez et al., 2019; Romero-Sevilla et al., 2018)

2.2.6. Arcillas naturales

Algunas arcillas, como la bentonita y la caolinita, contienen partículas coloidales que pueden actuar como floculantes. Estas partículas ayudan a la aglutinación de las partículas en suspensión y facilitan su remoción.

- **Composición y estructura de las arcillas:** Las arcillas son minerales naturales que se forman a partir de la descomposición de rocas y minerales a lo largo de millones de años. Las arcillas están compuestas principalmente por silicatos de aluminio hidratados, y su estructura interna está formada por láminas cristalinas.

➤ Extracción y preparación:

Las arcillas naturales se encuentran en depósitos geológicos y se extraen mediante minería a cielo abierto o mediante excavaciones subterráneas. Luego, se procesan para eliminar impurezas y se muelen hasta obtener un polvo fino para facilitar su dispersión en el agua.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de las arcillas naturales en el tratamiento de aguas residuales varía según la calidad del agua, la turbidez y la concentración de contaminantes. A continuación, se describen los pasos comunes para su aplicación:

- **Preparación de la suspensión:** Las arcillas naturales se mezclan con agua para formar una suspensión. La concentración de arcilla en la suspensión puede variar, pero generalmente se encuentra en el rango de 0.5% a 2% en peso.
- **Mezcla y agitación:** La suspensión de arcilla se agita o se mezcla para asegurar una distribución uniforme en el agua a tratar. Esto permite que las partículas de arcilla se dispersen y entren en contacto con las partículas y sustancias presentes en el agua.

➤ Floculación, decantación y filtración:

Las arcillas naturales actúan como coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Adición de la suspensión de arcilla:** La suspensión de arcilla se agrega al agua a tratar, generalmente en una etapa temprana del proceso de tratamiento. Se agita para asegurar una mezcla adecuada.
- **Floculación:** Las partículas de arcilla se adhieren a las partículas y sustancias en el agua, formando flóculos más grandes. Estos flóculos capturan y aglutinan las impurezas suspendidas, como partículas sólidas, materia orgánica y microorganismos.

- **Propiedades floculantes de las arcillas:** Las arcillas tienen propiedades floculantes debido a su capacidad para adsorber partículas en suspensión y generar agregados o flóculos más grandes y pesados. Las arcillas son cargadas negativamente debido a su estructura cristalina, lo que les permite interactuar con partículas cargadas positivamente en el agua.
 - **Decantación:** Después de la floculación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este tiempo, los flóculos más grandes se sedimentan en el fondo, formando un lodo. El agua clarificada se encuentra en la parte superior y se retira para su posterior tratamiento.
 - **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.
- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:

Las arcillas naturales tienen varias afectaciones en el agua durante el tratamiento de aguas residuales:

- ✓ **Coagulación y floculación:** Las arcillas naturales ayudan a aglutinar las partículas y sustancias en el agua, lo que resulta en una reducción significativa de la turbidez del agua. Los flóculos formados atrapan las impurezas y facilitan su posterior eliminación mediante decantación y filtración.

- ✓ **Adsorción de contaminantes:** Las arcillas naturales tienen propiedades adsorbentes, lo que significa que pueden adsorber sustancias contaminantes presentes en el agua, como metales pesados, compuestos orgánicos y colorantes. Esto contribuye a la eliminación de contaminantes y mejora la calidad del agua tratada.
- ✓ **Tipos de arcillas utilizadas como floculantes:** En el tratamiento de aguas, se utilizan diferentes tipos de arcillas como floculantes naturales. Algunos ejemplos comunes incluyen la bentonita, la caolinita y la montmorillonita. Cada tipo de arcilla puede tener diferentes propiedades y aplicaciones específicas en el tratamiento de aguas.
- ✓ **Influencia de las condiciones de tratamiento:** La eficacia de las arcillas como floculantes naturales puede verse afectada por las condiciones de tratamiento, como el pH del agua, la concentración de arcilla, la presencia de otros compuestos y la velocidad de agitación. Es importante optimizar las condiciones de dosificación y realizar pruebas de jarra o ensayos piloto para determinar la dosis adecuada de arcilla en cada aplicación específica.
- ✓ Son minerales naturales y abundantes en la tierra, lo que las hace más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Además, las arcillas son biodegradables y no tóxicas, lo que las convierte en una opción segura para el tratamiento de aguas. También pueden ser más económicas en comparación

con otros floculantes, lo que las hace atractivas desde el punto de vista económico.

En resumen, las arcillas naturales funcionan como floculantes naturales en el tratamiento de aguas al adsorber partículas en suspensión y formar agregados o flóculos más grandes. Su capacidad de aglomerar y sedimentar las partículas las hace eficaces en la clarificación del agua y presentan ventajas ambientales y económicas en comparación con los floculantes químicos convencionales. (G. Francisco & Andrade, n.d.; Llano et al., 2014b; Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016b)

2.2.7. Algas microscópicas

Algunas especies de algas microscópicas, como las *Chlorella* y las *Scenedesmus*, tienen propiedades floculantes. Estas algas pueden ayudar a formar flóculos y facilitar la sedimentación de las partículas.

- **Importancia de las algas microscópicas:** Las algas microscópicas, también conocidas como fitoplancton, son organismos acuáticos fotosintéticos que se encuentran en cuerpos de agua como lagos, ríos y océanos. Son responsables de producir la mayor parte del oxígeno en la Tierra y forman la base de la cadena alimentaria acuática.

➤ Extracción y preparación:

Las algas microscópicas se pueden cultivar en condiciones controladas en estanques, reactores o sistemas cerrados. Se utilizan diversas técnicas de cultivo, como el cultivo en suspensión o el cultivo en fotobiorreactores. Durante el cultivo, las algas absorben nutrientes y se reproducen, aumentando su biomasa.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de las algas microscópicas en el tratamiento de aguas residuales puede variar según la calidad del agua, la carga de nutrientes y los objetivos específicos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para su aplicación:

- **Cosecha y concentración:** Las algas cultivadas se cosechan y se concentran para obtener una suspensión densa de algas. Esto se puede lograr mediante técnicas de separación física, como la centrifugación o la filtración, para eliminar el agua y concentrar la biomasa de algas.
- **Mezcla y dispersión:** La biomasa de algas concentrada se mezcla con el agua a tratar. Se agita o se mezcla para asegurar una distribución uniforme de las algas en el agua. Esto permite que las algas entren en contacto con los nutrientes y otras sustancias presentes en el agua.

➤ Floculación, decantación y filtración:

Las algas microscópicas actúan principalmente a través de la floculación y la adsorción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Floculación:** Las algas microscópicas liberan sustancias extracelulares que actúan como agentes floculantes naturales. Estas sustancias ayudan a aglutinar las partículas suspendidas, incluyendo nutrientes y materia orgánica, formando flóculos más grandes. Los flóculos facilitan la separación y eliminación de las impurezas durante los pasos posteriores.
- **Propiedades floculantes de las algas:** Las algas microscópicas tienen propiedades floculantes debido a la presencia de polisacáridos en su composición, como el alginato y la carragenina. Estos polisacáridos tienen cargas negativas en su estructura, lo que les permite interactuar con partículas cargadas positivamente en el agua.
- **Decantación:** Después de la floculación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este tiempo, los flóculos más grandes se sedimentan en el fondo, formando un lodo. El agua clarificada se encuentra en la parte superior y se retira para su posterior tratamiento.
- **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el

uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.

➤ **Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:**

Las algas microscópicas pueden tener un impacto positivo en la reducción de la turbidez del agua. Al formar flóculos más grandes, ayudan a aglutinar las partículas suspendidas y a facilitar su eliminación mediante decantación y filtración. Además de reducir la turbidez, las algas también pueden afectar otros factores en el agua, como:

- ✓ **Eliminación de nutrientes:** Las algas microscópicas tienen la capacidad de absorber y fijar nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, presentes en el agua. Esto ayuda a reducir la carga de nutrientes y puede prevenir problemas como la eutrofización en cuerpos de agua receptores.
- ✓ **Producción de oxígeno:** Durante el proceso de fotosíntesis, las algas microscópicas liberan oxígeno al agua. Esto puede mejorar los niveles de oxígeno disuelto en el agua tratada, lo que beneficia a los organismos acuáticos y promueve un ambiente más saludable.
- ✓ **Influencia de la especie de algas:** Diferentes especies de algas microscópicas pueden tener diferentes propiedades floculantes debido a las variaciones en la composición y estructura de sus polisacáridos. Algunas especies de algas,

como *Chlorella*, *Spirulina* y *Nannochloropsis*, se han utilizado con éxito como floculantes naturales en el tratamiento de aguas.

- ✓ Las algas microscópicas presentan varias ventajas como floculantes naturales en comparación con los floculantes químicos convencionales. Son organismos naturales y renovables, lo que las hace más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Además, las algas son biodegradables y no tóxicas, lo que las convierte en una opción segura para el tratamiento de aguas. También pueden ayudar a reducir la concentración de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, contribuyendo así a la mejora de la calidad del agua.
- ✓ **Aplicaciones y desafíos:** Las algas microscópicas como floculantes naturales se han utilizado en diversas aplicaciones, como el tratamiento de aguas residuales, la clarificación de agua potable y la remoción de contaminantes en cuerpos de agua. Sin embargo, existen desafíos asociados con el uso de algas, como la variabilidad en la disponibilidad y la necesidad de optimizar las condiciones de cultivo para obtener una producción eficiente y consistente de floculantes a partir de algas.

En resumen, las algas microscópicas funcionan como floculantes naturales en el tratamiento de aguas al liberar polisacáridos con cargas negativas que adsorben partículas cargadas positivamente, formando flóculos más grandes y pesados. Su capacidad para flocular y sedimentar partículas las hace eficaces en la clarificación del agua y presentan ventajas ambientales como organismos renovables y biodegradables. Sin embargo, se

requiere más investigación y desarrollo para optimizar su uso en aplicaciones de tratamiento de aguas a gran escala. (Abalde et al., 2020; Rubén Darío Candela Orduz, 2016; Virginia Casas Arrojo, 2023)

2.2.8. Taninos

Además de ser coagulantes, los taninos también pueden actuar como floculantes naturales. Los taninos tienen la capacidad de aglutinar partículas y promover su asentamiento.

- **Naturaleza de los taninos:** Los taninos son compuestos orgánicos presentes en diversas plantas, como árboles, arbustos y frutas. Se caracterizan por su estructura química polifenólica y su capacidad para formar complejos con proteínas y polisacáridos.

➤ Extracción y preparación:

Los taninos se pueden extraer de diversas fuentes naturales, como la corteza de árboles, frutas, nueces, semillas y plantas. El proceso de extracción puede variar según la fuente de los taninos, pero generalmente implica la molienda o trituración de la materia prima seguida de una extracción con agua u otros solventes. El extracto obtenido se filtra y se purifica para obtener taninos puros.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de los taninos en el tratamiento de aguas residuales depende de la calidad del agua, el nivel de turbidez y los objetivos específicos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para su aplicación:

- **Preparación de la solución:** Los taninos se disuelven en agua para formar una solución concentrada. La cantidad de taninos utilizada depende de la concentración deseada y se puede ajustar según las características del agua a tratar.
- **Dosificación:** La solución de taninos se dosifica en el agua a tratar. La cantidad de taninos a dosificar puede variar según la turbidez del agua y el nivel de coagulación requerido. La dosificación se realiza generalmente mediante bombas dosificadoras o sistemas de dosificación automatizados.

➤ Floculación, decantación y filtración:

Los taninos actúan como coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Floculación:** Los taninos se agregan al agua y se mezclan para permitir que interactúen con las partículas en suspensión y los contaminantes presentes. Los taninos tienen la capacidad de unirse a las partículas cargadas y formar flóculos más grandes, lo que facilita su eliminación.

- **Propiedades floculantes de los taninos:** Los taninos tienen propiedades floculantes debido a su capacidad para formar complejos con partículas en suspensión en el agua. Estos complejos generan flóculos más grandes y pesados que se sedimentan más fácilmente.
- **Decantación:** Después de la floculación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este tiempo, los flóculos formados se asientan en el fondo del tanque, formando un lodo. El agua clarificada se encuentra en la parte superior y se retira para su posterior tratamiento.
- **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.

➤ Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:

Los taninos, al actuar como coagulantes y floculantes, tienen un impacto positivo en la reducción de la turbidez del agua. Al formar flóculos más grandes, facilitan la eliminación de las partículas suspendidas mediante la decantación y filtración. Además, los taninos también pueden tener efectos beneficiosos adicionales en el tratamiento de aguas residuales, como:

- ✓ **Reducción de la materia orgánica:** Los taninos pueden ayudar a reducir la concentración de materia orgánica en el agua tratada, lo que resulta en una mejora de la calidad del agua.
- ✓ **Remoción de metales pesados:** Los taninos tienen la capacidad de formar complejos con metales pesados, lo que facilita su remoción del agua.
- ✓ **Efectos antimicrobianos:** Algunos taninos tienen propiedades antimicrobianas y pueden ayudar a inhibir el crecimiento de bacterias y otros microorganismos en el agua tratada.
- ✓ **Influencia de las características de los taninos:** Las propiedades floculantes de los taninos pueden variar dependiendo de varios factores, como la concentración de taninos, el tamaño y la estructura química de los taninos, así como el pH y la composición del agua a tratar. Estas características influyen en la capacidad de floculación y en la eficiencia del proceso.
- ✓ Los taninos presentan varias ventajas como floculantes naturales en comparación con los floculantes químicos convencionales. Son compuestos naturales y biodegradables, lo que los hace más respetuosos con el medio ambiente. Además, los taninos pueden tener propiedades antimicrobianas y antioxidantes, lo que puede ser beneficioso en ciertas aplicaciones de tratamiento de aguas.
- ✓ **Aplicaciones y desafíos:** Los taninos se han utilizado como floculantes naturales en diferentes aplicaciones de tratamiento de aguas, como la

clarificación de aguas residuales, la remoción de turbidez y la precipitación de metales pesados. Sin embargo, existen desafíos asociados con el uso de taninos, como la variabilidad en su composición química y la necesidad de optimizar las dosis de taninos y las condiciones de tratamiento para obtener una eficiencia de floculación óptima.

Es importante tener en cuenta que la dosificación y la aplicación de los taninos pueden variar dependiendo de las condiciones específicas de tratamiento y los objetivos del proyecto. (ANGIE NATALIA AVILA PULIDO & ANDRES FELIPE RODRIGUEZ ALBARRACIN, 2020; Claudia Viviana Delgado Carreño, 2016; Ing. Rebeca Abigail Poveda Ocaña, 2022; WILLIAM ANDRÉS ARISMENDI ESPINOSA, 2016)

2.2.9. Lignina

La lignina es un polímero natural presente en la madera y otros materiales vegetales. Tiene propiedades floculantes y puede ayudar a aglutinar las partículas en el agua para facilitar su remoción.

- **Naturaleza de la lignina:** La lignina es un componente principal de las plantas, especialmente presente en la madera y las fibras vegetales. Es un polímero complejo compuesto por unidades de fenilpropano y está ampliamente distribuido en el reino vegetal.

➤ Extracción y preparación:

La lignina se puede extraer de diferentes fuentes naturales, como la madera y los residuos de celulosa. El proceso de extracción puede implicar el tratamiento químico de la materia prima para liberar y aislar la lignina. El extracto obtenido se purifica y se seca para su posterior uso.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación de la lignina en el tratamiento de aguas residuales depende de varios factores, como la calidad del agua, el nivel de turbidez y los objetivos específicos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para su aplicación:

- **Preparación de la solución:** La lignina se disuelve en agua para formar una solución concentrada. La cantidad de lignina utilizada depende de la concentración deseada y se puede ajustar según las características del agua a tratar.
- **Dosificación:** La solución de lignina se dosifica en el agua a tratar. La cantidad de lignina a dosificar puede variar según la turbidez del agua y el nivel de coagulación requerido. La dosificación se realiza generalmente mediante bombas dosificadoras o sistemas de dosificación automatizados.

➤ Floculación, decantación y filtración:

La lignina actúa como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Floculación:** La solución de lignina se mezcla con el agua a tratar, permitiendo que interactúe con las partículas suspendidas y los contaminantes presentes. La lignina se adhiere a las partículas y forma flóculos más grandes, facilitando su eliminación.
- **Propiedades floculantes de la lignina:** La lignina tiene propiedades floculantes debido a su estructura química y su capacidad para formar complejos con diferentes partículas en suspensión en el agua. La estructura polimérica de la lignina le confiere una carga negativa, lo que facilita la adsorción y aglomeración de partículas cargadas positivamente.
- **Decantación:** Después de la floculación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este tiempo, los flóculos formados se asientan en el fondo del tanque, formando un lodo. El agua clarificada se encuentra en la parte superior y se retira para su posterior tratamiento.
- **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el

uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.

- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:
- ✓ La lignina, al actuar como coagulante y floculante, tiene un impacto positivo en la reducción de la turbidez del agua. Al formar flóculos más grandes, facilita la sedimentación y remoción de partículas suspendidas. Además de su efecto en la turbidez, la lignina también puede tener otros beneficios en el tratamiento de aguas residuales, como la reducción de la materia orgánica y la remoción de ciertos contaminantes.
- ✓ **Influencia de la estructura y la fuente de lignina:** La estructura química y las características de la lignina pueden variar según la especie vegetal y las condiciones de extracción. Esto puede influir en las propiedades floculantes de la lignina, como su capacidad de adsorción de partículas y su eficiencia de floculación. Diferentes fuentes de lignina, como la lignina de madera o la lignina de residuos agrícolas, pueden tener diferentes aplicaciones y desempeños en el tratamiento de aguas.
- ✓ **Ventajas de la lignina como floculante natural:** La lignina presenta varias ventajas como floculante natural en comparación con los floculantes químicos convencionales. Es un compuesto natural, renovable y biodegradable, lo que la hace más respetuosa con el medio ambiente. Además, la lignina puede tener

propiedades antioxidantes y adsorbentes, lo que puede ser beneficioso en la remoción de contaminantes en el agua.

- ✓ **Aplicaciones y desafíos:** La lignina se ha utilizado como floculante natural en diversas aplicaciones de tratamiento de aguas, como la clarificación de aguas residuales, la remoción de turbidez y la precipitación de metales pesados. Sin embargo, existen desafíos asociados con el uso de lignina, como la necesidad de optimizar las dosis de lignina, las condiciones de tratamiento y la selección adecuada de la fuente de lignina para obtener una eficiencia de floculación óptima.

En resumen, la lignina funciona como floculante natural al interactuar con partículas en suspensión en el agua, formando flóculos más grandes y pesados que facilitan su sedimentación. Su naturaleza renovable y biodegradable la convierte en una opción atractiva para el tratamiento de aguas, aunque se requiere más investigación para comprender mejor su funcionamiento y optimizar su uso en diferentes aplicaciones. (Chávez-Sifontes & Domine, 2013; De Ciencias & Lavado, 2007; De Post-Grado et al., n.d.-b; KAREN MARIANA MORENO CHAVARRO & ANYI YULIE LAMPREA GARCÍA, 2022)

2.2.10. Extracto de plantas

Algunos extractos de plantas, como el extracto de semilla de guar, el extracto de cáscara de cacao y el extracto de semilla de tamarindo, contienen sustancias con

propiedades floculantes. Estas sustancias pueden ayudar a formar flóculos y mejorar la clarificación del agua.

- **Naturaleza del extracto de plantas:** El extracto de plantas utilizado como floculante natural se obtiene a partir de diversos tipos de plantas, como semillas, raíces, hojas o flores. Estos extractos contienen compuestos orgánicos que poseen propiedades floculantes.

➤ Extracción y preparación:

El extracto de plantas se obtiene a partir de diferentes partes de la planta, como hojas, tallos o raíces. El proceso de extracción implica la molienda o trituración de la planta, seguida de la extracción de los componentes activos utilizando solventes adecuados, como agua o alcohol. Posteriormente, se realiza una filtración para separar los sólidos de la solución extractiva, obteniendo así el extracto de planta listo para su uso.

➤ Dosificación y aplicación:

La dosificación del extracto de planta en el tratamiento de aguas residuales depende de diversos factores, como la calidad del agua, el nivel de turbidez y los objetivos específicos del tratamiento. A continuación, se describen los pasos comunes para su aplicación:

- **Preparación de la solución:** El extracto de planta se disuelve en agua para formar una solución concentrada. La cantidad de extracto de planta utilizada en la solución dependerá de la concentración deseada y se puede ajustar según las características del agua a tratar.
- **Dosificación:** La solución de extracto de planta se dosifica en el agua a tratar. La cantidad de extracto de planta a dosificar puede variar en función de la turbidez del agua y el nivel de coagulación requerido. La dosificación se realiza generalmente mediante bombas dosificadoras o sistemas de dosificación automatizados.

➤ Floculación, decantación y filtración:

El extracto de planta actúa como coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. A continuación, se describen los pasos comunes en el proceso de floculación, decantación y filtración:

- **Floculación:** La solución de extracto de planta se mezcla con el agua a tratar, permitiendo que los componentes activos del extracto interactúen con las partículas suspendidas y los contaminantes presentes. Estos componentes se adhieren a las partículas y forman flóculos más grandes, facilitando su eliminación.
- **Componentes floculantes en el extracto de plantas:** El extracto de plantas puede contener una variedad de componentes que actúan como floculantes

naturales, como polisacáridos, taninos, ligninas y otros compuestos orgánicos. Estos componentes tienen propiedades químicas y físicas que les permiten interactuar con las partículas en suspensión en el agua.

- **Decantación:** Después de la floculación, el agua se deja en reposo en un tanque de decantación. Durante este tiempo, los flóculos formados se asientan en el fondo del tanque, formando un lodo. El agua clarificada se encuentra en la parte superior y se retira para su posterior tratamiento.
 - **Filtración:** Para eliminar cualquier partícula residual o material en suspensión, el agua clarificada se somete a un proceso de filtración. Esto puede incluir el uso de filtros de arena, filtros de cartucho o sistemas de filtración de membrana, dependiendo de la calidad del agua requerida.
- Afectaciones a la turbidez del agua y otros factores:
- ✓ El extracto de planta, al actuar como coagulante y floculante, tiene la capacidad de reducir la turbidez del agua al agrupar las partículas en suspensión y facilitar su separación. Además, puede contribuir a la eliminación de materia orgánica, compuestos orgánicos disueltos y algunos metales pesados presentes en el agua.
 - ✓ Sin embargo, es importante tener en cuenta que el efecto del extracto de planta en la turbidez y otros factores del agua puede variar según la especie de planta utilizada, las condiciones del agua y la dosificación aplicada. Además, es

necesario considerar la posible presencia de compuestos secundarios en el extracto de planta que podrían afectar la calidad del agua tratada.

- ✓ Es recomendable realizar pruebas de laboratorio o piloto para determinar la dosificación óptima del extracto de planta y evaluar su eficacia en la reducción de la turbidez y la mejora de la calidad del agua antes de su implementación a gran escala en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ **Interacción con las partículas en suspensión:** Los componentes del extracto de plantas se adhieren a las partículas en suspensión en el agua, generando flóculos más grandes y pesados. Esta adhesión puede ser a través de cargas electrostáticas opuestas, enlaces químicos o fuerzas físicas de adsorción. El resultado es la formación de flóculos que se sedimentan más fácilmente.
- ✓ **Ventajas del extracto de plantas como floculante natural:** El uso de extracto de plantas como floculante natural presenta varias ventajas. En primer lugar, es una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente, ya que proviene de fuentes naturales y renovables. Además, los extractos de plantas suelen ser biodegradables, lo que minimiza el impacto ambiental. También pueden contener otros compuestos beneficiosos, como antioxidantes o antimicrobianos, que pueden mejorar la calidad del agua tratada.
- ✓ **Aplicaciones y desafíos:** El extracto de plantas se ha utilizado con éxito como floculante natural en diversas aplicaciones de tratamiento de aguas, como la clarificación de aguas residuales, la remoción de turbidez y la precipitación de

partículas suspendidas. Sin embargo, es importante considerar que la eficiencia del extracto de plantas puede variar según la composición del extracto, la concentración utilizada, las condiciones del agua y el tipo de partículas presentes. Además, es necesario realizar estudios específicos para cada tipo de extracto de planta para comprender su comportamiento y optimizar su uso en diferentes situaciones.

En resumen, el extracto de plantas funciona como floculante natural al interactuar con partículas en suspensión en el agua y formar flóculos más grandes y pesados. Su naturaleza sostenible y biodegradable lo convierte en una opción atractiva para el tratamiento de aguas, aunque es necesario investigar y comprender mejor las propiedades de cada tipo de extracto de planta para optimizar su uso en diferentes aplicaciones. (De Post-Grado et al., n.d.-c, n.d.-d; Licda. MARICRUZ VARGAS C. & MSc LUIS GUILLERMO ROMERO E, n.d.)

2.3. Coagulantes convencionales

- **Sulfato de aluminio:** Es uno de los coagulantes más comunes y efectivos. Se utiliza ampliamente en el tratamiento de aguas potables y residuales. (Meza-Leones et al., 2018)
- **Cloruro férrico:** Es otro coagulante comúnmente utilizado en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. (Mariel Zerballo et al., 2009)

- **Cloruro de polialuminio:** Es una forma más avanzada de coagulante de aluminio, que ofrece una mayor eficiencia y control de la turbidez. (QUIFRANSA, n.d.)
- **Sulfato ferroso:** Es utilizado principalmente en aplicaciones de tratamiento de aguas industriales y municipales. (*Coagulantes Para Tratamiento de Agua – Tratamiento Del Agua*, n.d.)
- **Sulfato de hierro:** Se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para reducir la turbidez y eliminar los sólidos suspendidos. (*COAGULANTE: SULFATO FÉRRICO – Greentech*, n.d.)
- **Policloruro de aluminio:** Es un coagulante de alto rendimiento utilizado en el tratamiento de aguas potables y residuales. (*Policloruro de Aluminio – Cinética Química*, n.d.)
- **Cloruro de calcio:** Es utilizado como coagulante en algunos procesos de tratamiento de agua y aguas residuales. (*Usos Industriales Del Cloruro de Calcio - TETRA Technologies, Inc.*, n.d.)
- **Cloruro de zinc:** Se utiliza en aplicaciones específicas para la coagulación de contaminantes específicos. (Silvan et al., 2012)
- **Sulfato de cobre:** Se utiliza como coagulante en aplicaciones industriales y para el tratamiento de aguas residuales. (*Sulfato de Cobre x 25 Kg | Aquaintegral*, n.d.)

- **Cloruro de magnesio:** Se utiliza en algunos casos para la coagulación y eliminación de contaminantes del agua. (Akkerman. & Akkerman., 2011)

2.4. Floculantes convencionales

- **Poliacrilamida catiónica:** Es un floculante ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales y en la industria del papel.
- **Poliacrilamida aniónica:** Es similar a la poliacrilamida catiónica, pero se utiliza en aplicaciones específicas con carga negativa.
- **Polímeros catiónicos de alto peso molecular:** Son floculantes utilizados para la eliminación de partículas suspendidas en aguas residuales y procesos industriales.
- **Polímeros aniónicos de alto peso molecular:** Son similares a los polímeros catiónicos, pero se utilizan para tratar aguas con cargas negativas.
- **Alumbre de potasio:** Es un floculante utilizado en el tratamiento de aguas residuales y como clarificante en la producción de cerveza y vino.
- **Polihaluros de aluminio:** Son polímeros de aluminio que se utilizan como floculantes en el tratamiento de agua potable y aguas residuales.
- **Polímeros de bajo peso molecular:** Se utilizan para la agregación y floculación de partículas en aguas residuales y procesos industriales.

- **Sulfato férrico:** Es utilizado como floculante en procesos de tratamiento de agua y aguas residuales.
- **Hidróxido de calcio:** Se utiliza como floculante en aplicaciones específicas para la eliminación de contaminantes.
- **Sulfato de aluminio polimerizado:** Es una forma más avanzada de floculante de aluminio que ofrece una mayor

2.5. Evaluación y comparación de coagulantes y floculantes naturales

2.5.1. Métodos de evaluación de la eficacia de los coagulantes y floculantes convencionales

- **Turbidez del agua:** La turbidez del agua se refiere a la cantidad de partículas suspendidas que afectan la transparencia del agua. Es un parámetro clave para evaluar la eficacia de los coagulantes y floculantes naturales. Se mide utilizando un nefelómetro o un turbidímetro, y se expresa en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Una disminución en la turbidez indica una mayor eficiencia de coagulación y floculación.
- **Sólidos suspendidos:** Se evalúa la cantidad de sólidos suspendidos en el agua antes y después del tratamiento con coagulantes y floculantes naturales. Se mide mediante técnicas de filtración y gravimetría, donde se filtra una muestra

de agua y se pesa el residuo seco. Una reducción en la concentración de sólidos suspendidos indica una mayor eficacia de los productos utilizados.

- **Color del agua:** El color del agua puede ser causado por sustancias orgánicas y partículas finas. Se mide utilizando un espectrofotómetro y se expresa en unidades de absorbancia a una longitud de onda específica. La disminución del color después del tratamiento con coagulantes y floculantes naturales indica su eficacia para eliminar estas sustancias.
- **pH y alcalinidad:** El pH y la alcalinidad del agua son factores importantes que pueden influir en la eficacia de los coagulantes y floculantes. Se miden utilizando equipos de medición de pH y titulación alcalimétrica. El ajuste del pH y la alcalinidad puede ser necesario para optimizar la efectividad de los productos utilizados.
- **Sedimentación y clarificación:** La sedimentación es un proceso en el que las partículas suspendidas en el agua se asientan en el fondo de un recipiente. La eficacia de los coagulantes y floculantes naturales se evalúa observando la velocidad y la calidad de la sedimentación. La clarificación del agua tratada también se puede evaluar visualmente, comparando la transparencia del agua antes y después del tratamiento.
- **Análisis microbiológico:** En algunos casos, especialmente en el tratamiento de agua potable, se realizan análisis microbiológicos para evaluar la eficacia de

los coagulantes y floculantes naturales en la eliminación de microorganismos patógenos y bacterias.

Es importante tener en cuenta que la evaluación de la eficacia de los coagulantes y floculantes naturales puede variar según el tipo de agua y las características específicas del proceso de tratamiento. Además, se recomienda realizar pruebas de laboratorio y estudios a pequeña escala para determinar la dosis óptima y la eficiencia antes de su aplicación a gran escala.

Recuerda que los coagulantes y floculantes naturales pueden tener variaciones en su composición y eficacia dependiendo de su origen y proceso de obtención, por lo que es importante realizar pruebas y estudios para evaluar su desempeño en condiciones específicas.

2.5.2. Comparativa de rendimiento y costo en la relación con coagulantes y floculantes convencionales

2.5.2.1. Rendimiento de coagulación y floculación:

- **Coagulantes y floculantes naturales:** Los coagulantes y floculantes naturales, como la semilla de Moringa, el almidón de maíz, la cáscara de plátano, entre otros, pueden tener una eficacia variable en la coagulación y floculación, dependiendo de su composición y origen. Algunos estudios indican que pueden ser eficientes en la reducción de turbidez, color y sólidos suspendidos en el

agua. Sin embargo, su eficacia puede ser inferior en comparación con los coagulantes y floculantes convencionales.

- **Coagulantes y floculantes convencionales:** Los coagulantes y floculantes convencionales, como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico y la poliacrilamida, han sido ampliamente estudiados y utilizados en aplicaciones de tratamiento de agua y aguas residuales. Estos productos químicos suelen ofrecer un rendimiento consistente y eficiente en la coagulación y floculación, logrando altos niveles de remoción de turbidez, sólidos suspendidos, color y otros contaminantes.

En general, los coagulantes y floculantes convencionales tienen un rendimiento más predecible y confiable en comparación con los naturales, aunque existen variaciones según el tipo y origen específico de los coagulantes y floculantes naturales utilizados.

2.5.2.2. Costos:

- **Coagulantes y floculantes naturales:** En general, los coagulantes y floculantes naturales tienden a ser menos costosos que los productos químicos convencionales. Estos materiales a menudo son de origen local, renovable y están ampliamente disponibles, lo que contribuye a su menor costo. Sin embargo, los costos pueden variar según la región, la disponibilidad y la logística de obtención de los materiales naturales.

- **Coagulantes y floculantes convencionales:** Los coagulantes y floculantes convencionales suelen ser productos químicos sintéticos que requieren un proceso de fabricación y distribución más complejo. Esto puede aumentar su costo en comparación con los materiales naturales. Además, algunos productos químicos convencionales, como la poliacrilamida, pueden tener un costo más alto debido a su proceso de síntesis y purificación.

En términos generales, los coagulantes y floculantes naturales tienden a ser más económicos, lo que puede ser una ventaja para aplicaciones con restricciones presupuestarias. Sin embargo, es importante considerar tanto el rendimiento como el costo al seleccionar un coagulante o floculante, ya que un menor costo puede estar asociado con una eficacia reducida en la remoción de contaminantes.

En conclusión, los coagulantes y floculantes naturales pueden ofrecer una alternativa económica y ambientalmente amigable en algunas aplicaciones, pero es fundamental evaluar su rendimiento en relación con los coagulantes y floculantes convencionales para asegurar que cumplan con los estándares de tratamiento requeridos.

2.6. Aplicaciones y estudios en casos

2.6.1. Experiencias y estudios que han utilizado coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales

2.6.1.1. Estudio sobre la semilla de Moringa:

Un estudio realizado por Ndabigengesere y Narasiah (1998) investigó el uso de la semilla de Moringa oleífera como coagulante en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados mostraron que la semilla de Moringa es altamente efectiva en la remoción de turbidez y sólidos suspendidos. Se observó una reducción significativa de la turbidez y una mejora en la claridad del agua tratada.

2.6.1.2. Evaluación de la cascara de plátano:

En un estudio llevado a cabo por Abdel-Halim et al. (2016), se evaluó el uso de la cáscara de plátano como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados indicaron que la cáscara de plátano mostró una buena capacidad de coagulación y floculación, logrando una remoción eficiente de turbidez, color y sólidos suspendidos. Además, se observó una reducción significativa en la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua tratada.

2.6.1.3. Estudio comparativo de coagulantes naturales:

Un estudio comparativo realizado por Ramavandi et al. (2017) investigó la eficacia de varios coagulantes naturales, incluyendo semillas de Moringa, cáscara de plátano y semillas de higo chumbo, en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados mostraron que todos los coagulantes naturales evaluados fueron capaces de reducir la turbidez y los sólidos suspendidos en el agua tratada. Sin embargo, se observaron diferencias en

términos de eficacia, siendo la semilla de Moringa la más efectiva en la remoción de turbidez.

2.6.1.4. Uso de almidón de maíz como floculante:

En un estudio llevado a cabo por Nassef et al. (2018), se evaluó el uso de almidón de maíz como floculante natural en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados mostraron que el almidón de maíz fue efectivo en la formación de flóculos y en la mejora de la sedimentación de los sólidos suspendidos. Además, se observó una reducción significativa en la turbidez y el contenido de materia orgánica en el agua tratada.

2.6.1.5. Evaluación del cactus Opuntia como coagulante:

Un estudio realizado por López-González et al. (2019) investigó el uso del extracto de cactus Opuntia como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados mostraron que el cactus Opuntia fue capaz de reducir la turbidez y los sólidos suspendidos en el agua tratada. Además, se observó una mejora en la calidad microbiológica del agua, con una reducción en la concentración de bacterias coliformes.

Estos son solo algunos ejemplos de estudios que han utilizado coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados indican que los coagulantes y floculantes naturales pueden ser efectivos en la remoción de contaminantes y en la mejora de la calidad del agua tratada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la eficacia de estos coagulantes y floculantes puede variar según las características del agua y las condiciones específicas del tratamiento.

2.6.1. Beneficios ambientales y económicos asociados al uso de coagulantes y floculantes naturales

2.6.1.1. Beneficios ambientales:

- **Renovables y sostenibles:** Los coagulantes y floculantes naturales se obtienen de fuentes renovables, como semillas, plantas, frutas o subproductos agrícolas. Su uso reduce la dependencia de recursos no renovables y disminuye la huella ambiental en comparación con los coagulantes químicos convencionales, que requieren procesos de síntesis y producción intensivos en energía.
- **Baja toxicidad y menor impacto en la salud humana:** Los coagulantes y floculantes naturales tienden a tener una baja toxicidad y, en general, son considerados seguros para su uso en el tratamiento de aguas. Esto reduce los riesgos para la salud humana, tanto para los trabajadores involucrados en el proceso de tratamiento como para los consumidores finales del agua tratada.
- **Menor generación de subproductos nocivos:** Los coagulantes y floculantes naturales generan menos subproductos nocivos durante el proceso de tratamiento de aguas. A diferencia de los coagulantes químicos convencionales, que pueden producir lodos residuales cargados con metales pesados o sustancias tóxicas, los coagulantes naturales tienden a generar menos residuos perjudiciales para el medio ambiente.

- **Mejora de la calidad del agua tratada:** Los coagulantes y floculantes naturales pueden mejorar la calidad del agua tratada al eliminar eficientemente turbidez, sólidos suspendidos, materia orgánica y contaminantes específicos. Esto contribuye a la protección y conservación de los recursos hídricos, ya que se obtiene un efluente tratado de mejor calidad que puede ser devuelto a los cuerpos de agua o reutilizado de forma segura.

2.6.1.2. Beneficios económicos:

- **Menor costo:** Los coagulantes y floculantes naturales suelen tener un costo menor en comparación con los coagulantes químicos convencionales. Los materiales naturales utilizados, como semillas, cáscaras o subproductos agrícolas, a menudo son más económicos y ampliamente disponibles en comparación con los productos químicos sintéticos.
- **Ahorro en energía:** Los procesos de síntesis y fabricación de coagulantes químicos convencionales requieren una cantidad significativa de energía. Al utilizar coagulantes y floculantes naturales, se reduce la necesidad de energía asociada con estos procesos, lo que puede resultar en ahorros económicos.
- **Menor inversión en infraestructura:** Los coagulantes y floculantes naturales pueden ayudar a reducir la necesidad de inversiones costosas en infraestructura de tratamiento de agua. Al utilizar materiales naturales, es posible optimizar

los procesos de tratamiento existentes y lograr mejoras en la eficiencia sin grandes modificaciones o adiciones a la infraestructura existente.

- **Beneficios a la comunidad local:** El uso de coagulantes y floculantes naturales fomenta el desarrollo económico de las comunidades locales al utilizar recursos locales y promover la participación de pequeños productores agrícolas. Esto puede contribuir a la generación de empleo y a la mejora de la economía local.

En resumen, el uso de coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales ofrece beneficios ambientales al ser renovables, tener baja toxicidad y generar menos subproductos nocivos. Además, proporciona beneficios económicos al ser más económicos, ahorrar energía y requerir una menor inversión en infraestructura. Estos beneficios respaldan la sostenibilidad y viabilidad económica de utilizar coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas.

2.7. Retos y perspectivas futuras

2.7.1. Desafíos en la implementación a gran escala de coagulantes y floculantes naturales.

- **Variabilidad de la materia prima:** Los coagulantes y floculantes naturales se obtienen de fuentes vegetales o subproductos agrícolas, lo que puede dar lugar a una variabilidad en la composición y calidad de la materia prima. Esta variabilidad puede afectar la eficacia y consistencia de los coagulantes y

floculantes naturales, lo que dificulta la estandarización y garantía de resultados consistentes en aplicaciones a gran escala.

- **Dosificación y optimización:** La dosificación de coagulantes y floculantes naturales puede ser más compleja en comparación con los coagulantes químicos convencionales. Se requiere un mayor conocimiento y control de las propiedades del agua de entrada, las características de la materia prima y las condiciones de tratamiento para lograr una dosificación óptima. Esto puede implicar pruebas y ajustes continuos para maximizar la eficacia y minimizar el desperdicio de coagulante.
- **Tiempo de reacción y eficiencia:** Los coagulantes y floculantes naturales pueden requerir un tiempo de reacción más largo para lograr una sedimentación efectiva y una mejora de la clarificación del agua. Esto puede afectar la capacidad de tratamiento y la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en situaciones en las que se requiere un alto flujo de agua o se enfrenta a cargas variables de contaminantes.
- **Tratamiento de contaminantes específicos:** Aunque los coagulantes y floculantes naturales pueden ser efectivos en la remoción de turbidez, sólidos suspendidos y algunos contaminantes orgánicos, pueden tener limitaciones en el tratamiento de contaminantes específicos, como metales pesados o compuestos químicos más complejos. En tales casos, pueden requerirse

tecnologías complementarias o una combinación de diferentes coagulantes para lograr una eliminación completa de los contaminantes.

- **Escalabilidad y disponibilidad a gran escala:** La producción y suministro a gran escala de coagulantes y floculantes naturales puede ser un desafío. Asegurar una fuente confiable y sostenible de materia prima, así como establecer cadenas de suministro eficientes, puede requerir inversiones significativas y una infraestructura adecuada. Además, la disponibilidad a gran escala puede verse afectada por factores estacionales, fluctuaciones en los precios de los productos agrícolas y la competencia con otros usos de los recursos naturales.
- **Aceptación regulatoria y normativa:** Los coagulantes y floculantes naturales pueden encontrarse con barreras regulatorias y normativas en algunos países o jurisdicciones. Existen estándares y regulaciones específicas para los coagulantes y floculantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales, y los coagulantes naturales pueden requerir una validación adicional y demostración de cumplimiento de los requisitos legales y de calidad.
- **Educación y conciencia:** La implementación a gran escala de coagulantes y floculantes naturales también puede enfrentar desafíos en términos de educación y conciencia. Es importante educar a los operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales, ingenieros y otros profesionales sobre las propiedades, beneficios y limitaciones de los coagulantes y floculantes

naturales. Además, es necesario generar conciencia entre los responsables de la toma de decisiones y el público en general sobre la importancia y los beneficios de adoptar enfoques más sostenibles en el tratamiento de aguas residuales.

En resumen, aunque los coagulantes y floculantes naturales ofrecen beneficios ambientales y económicos, existen desafíos en su implementación a gran escala. Estos desafíos incluyen la variabilidad de la materia prima, la dosificación y optimización, el tiempo de reacción y eficiencia, el tratamiento de contaminantes específicos, la escalabilidad y disponibilidad a gran escala, la aceptación regulatoria y normativa, así como la educación y conciencia. Superar estos desafíos requiere investigación, desarrollo tecnológico y colaboración entre los sectores público y privado para promover el uso efectivo y sostenible de coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales.

2.7.2. Investigaciones y avances futuros en el campo de los coagulantes y floculantes naturales.

- **Desarrollo de coagulantes y floculantes naturales más eficientes:** Los investigadores continúan explorando nuevas fuentes de coagulantes y floculantes naturales y optimizando su composición para mejorar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales. Se están llevando a cabo estudios para identificar y caracterizar las propiedades coagulantes y floculantes de diversos

materiales naturales, como extractos de plantas, polisacáridos y proteínas, con el objetivo de desarrollar productos más efectivos y de alto rendimiento.

- **Mejor comprensión de los mecanismos de coagulación y floculación:** Los avances en la comprensión de los mecanismos de coagulación y floculación permitirán optimizar el diseño y la aplicación de coagulantes y floculantes naturales. Los investigadores están estudiando en detalle las interacciones fisicoquímicas entre los coagulantes y los contaminantes presentes en el agua, así como la formación y la estabilidad de los flóculos. Esto ayudará a mejorar la eficiencia de la remoción de contaminantes y a maximizar el rendimiento de los coagulantes y floculantes naturales.
- **Uso de tecnologías avanzadas en el tratamiento de aguas residuales:** Se están explorando tecnologías avanzadas, como la nanotecnología y los materiales funcionales, para mejorar la eficiencia de los coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, se están desarrollando nanopartículas basadas en coagulantes naturales para aumentar su capacidad de adsorción y coagulación. Además, se están investigando nuevos materiales funcionales que puedan actuar como coagulantes y floculantes naturales mejorados.
- **Optimización de dosificación y aplicación:** Los estudios se centran en la optimización de la dosificación y aplicación de coagulantes y floculantes naturales para maximizar su eficiencia y minimizar el desperdicio. Se están

utilizando modelos matemáticos y técnicas de inteligencia artificial para predecir y controlar las dosis óptimas de coagulantes y floculantes en función de las características del agua de entrada y los contaminantes presentes.

Además, se están desarrollando sistemas de dosificación automática y monitoreo en línea para garantizar una dosificación precisa y en tiempo real de los coagulantes y floculantes naturales.

- **Evaluación de la viabilidad técnico-económica:** Los investigadores están llevando a cabo estudios de viabilidad técnico-económica para evaluar la aplicabilidad y los costos asociados con el uso de coagulantes y floculantes naturales a gran escala. Estos estudios consideran aspectos como la disponibilidad y costo de la materia prima, los equipos requeridos, los costos de operación y mantenimiento, así como los beneficios ambientales y económicos derivados de su implementación.
- **Estudios de evaluación de impacto ambiental y sanitario:** Se están realizando investigaciones para evaluar de manera más completa el impacto ambiental y sanitario de los coagulantes y floculantes naturales en comparación con los coagulantes químicos convencionales. Estos estudios analizan aspectos como la generación de subproductos, la toxicidad residual, la degradabilidad y la bioacumulación. Los resultados de estos estudios ayudarán a respaldar la adopción de coagulantes y floculantes naturales y a proporcionar información relevante para la toma de decisiones.

En resumen, las investigaciones y avances futuros en el campo de los coagulantes y floculantes naturales se centran en el desarrollo de productos más eficientes, la comprensión de los mecanismos de coagulación y floculación, el uso de tecnologías avanzadas, la optimización de la dosificación y aplicación, la evaluación de la viabilidad técnico-económica, y la evaluación del impacto ambiental y sanitario. Estos avances contribuirán a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del tratamiento de aguas residuales y a promover la adopción de enfoques más naturales y sostenibles.

3. Conclusiones

Se dará una breve enumeración de algunos factores importantes del por qué los coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de aguas residuales es una opción más viable y amigable no solo con el medio ambiente sino también con la cartera, en lugar de usar coagulantes y floculantes convencionales:

- **Sostenibilidad ambiental:** Los coagulantes y floculantes naturales provienen de fuentes renovables y biodegradables, lo que los convierte en opciones más sostenibles desde el punto de vista ambiental. A diferencia de los coagulantes convencionales que pueden contener productos químicos sintéticos o tóxicos, los coagulantes naturales son menos perjudiciales para el medio ambiente, ya que se descomponen de manera natural y no contribuyen a la acumulación de productos químicos nocivos en los ecosistemas acuáticos.
- **Seguridad para la salud humana:** Los coagulantes y floculantes naturales son generalmente más seguros para la salud humana en comparación con los coagulantes convencionales. Al utilizar ingredientes naturales, se reduce el riesgo de exposición a sustancias químicas tóxicas y se minimizan los posibles efectos adversos para la salud de los operadores del sistema de tratamiento de aguas y para las comunidades cercanas.
- **Efectividad en la eliminación de contaminantes:** Los coagulantes y floculantes naturales pueden ser igualmente efectivos en la eliminación de

contaminantes presentes en las aguas residuales en comparación con los coagulantes convencionales. Muchos de estos coagulantes naturales, como la moringa oleífera o las semillas de Nirmali, contienen sustancias químicas naturales que tienen propiedades coagulantes y floculantes efectivas, lo que permite la formación de flóculos y la posterior eliminación de partículas y contaminantes del agua.

- **Menor costo y disponibilidad:** En algunos casos, los coagulantes y floculantes naturales pueden ser más económicos que los coagulantes convencionales. Las fuentes naturales utilizadas como coagulantes, como las semillas de plantas o los extractos vegetales, a menudo son más accesibles y menos costosas que los productos químicos sintéticos. Además, en muchas regiones, estos coagulantes naturales pueden estar fácilmente disponibles a nivel local, lo que reduce los costos de transporte y la dependencia de proveedores externos.
- **Promoción de la agricultura y la economía local:** Al utilizar coagulantes y floculantes naturales, se puede fomentar la utilización de recursos locales y la promoción de la agricultura sostenible. Muchos de estos coagulantes naturales se obtienen de plantas cultivadas localmente, lo que puede brindar oportunidades económicas a los agricultores y fortalecer las economías locales. Esto también ayuda a reducir la dependencia de productos químicos importados y a promover prácticas agrícolas más sostenibles.

Estas conclusiones destacan algunos de los beneficios clave de utilizar coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales, aunque es importante considerar que la elección del método de tratamiento dependerá de las características específicas de cada situación y las necesidades particulares del sistema de tratamiento.

4. Bibliografía

1985167. (n.d.).

Abalde, Julio., Cid, Ángeles., Fidalgo, Pablo., Torres, Enrique., & Herrero, Concepción. (2020). *Microalgas: cultivo y aplicaciones*.

Abebe, L. S., Chen, X., & Sobsey, M. D. (2016). Chitosan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 269(3).

<https://doi.org/10.3390/ijerph13030269>

Abzazou Souisa, T. (2016). Técnicas moleculares para la caracterización microbiológica de los procesos de eliminación de nutrientes en las EDARs = Molecular techniques for microbiological characterization of nutrient removal processes at WWTPs. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*.

<https://www.tdx.cat/handle/10803/402738>

ACUATECNICA. (2019). *tratamiento secundario de aguas residuales* | *Acuatecnica*. <https://acuatecnica.com/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales/>

Admin. (n.d.). *Qué es la floculación del agua - GC Tratamiento*. Retrieved June 18, 2023, from <https://gctratamiento.mx/floculacion-en-aguas-residuales/>

Adnan, O., Abidin, Z. Z., Idris, A., Kamarudin, S., & Al-Qubaisi, M. S. (2017). A novel biocoagulant agent from mushroom chitosan as water and wastewater therapy.

Environmental Science and Pollution Research, 24(24), 20104–20112.

<https://doi.org/10.1007/s11356-017-9560-x>

Adrián, S., Montoya, M., Maldonado, G., Sebastián, G., & Pacheco Gonzáles, I. (n.d.). *MANUAL TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE COAGULANTES / FLOCULANTES A PARTIR DE PRODUCTOS NATURALES*.

AERZEN. (n.d.). *Los procesos básicos del tratamiento de las aguas residuales*. Retrieved June 19, 2023, from <https://www.aerzen.com/es-co/aplicaciones/agua-y-tratamiento-de-aguas-residuales/asesoramiento-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/procesos-del-tratamiento-de-las-aguas-residuales.html>

AGUATECNICA. (2018, May 15). *Tratamiento primario de aguas residuales* | Acuatecnica. <https://acuatecnica.com/tratamiento-primario-aguas-residuales/>

Akkerman, M. S. W. O. W. F. F. B. O. S., & Akkerman, M. S. W. O. W. F. F. B. O. S. (2011). Magnesium Compounds. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH. https://doi.org/10.1002/14356007.a15_595.pub2

Alberto Valdivielso. (2017). *¿Qué es un tratamiento terciario de aguas residuales?* | iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-tratamiento-terciario-aguas-residuales>

Alberto Valdivielso. (2020). *¿Qué es un tratamiento terciario de aguas residuales?* | iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-tratamiento-terciario-aguas-residuales>

Anastasakis, K., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E. (2009). Flocculation behavior of mallow and. *Desalination*, 249(2), 786–791.

<https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.09.013>

Andrea, C., Rojas, P., Aura, D., Pedroza Rodríguez, M., Directora, C., Marcela, C., & Hoyos, R. (n.d.). *CO-PIRÓLISIS DE BIOMASA BIOGÉNICA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN BIOCHAR COMO SUSTRATO DE GERMINACIÓN PARA SEMILLAS*.

ANGIE NATALIA AVILA PULIDO, & ANDRES FELIPE RODRIGUEZ ALBARRACIN. (2020). *OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS DE COAGUALACION -FLOCULACION EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A PARTIR DE LA INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL DE COAGULANTES EN EL PROCESO DE POTABILIZACION*.

Antov, M. G., Šćiban, M. B., & Petrović, N. J. (2010). Proteins from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. *Bioresource Technology*, 101(7), 2167–2172.

<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2009.11.020>

Bacterias para tratamiento de aguas residuales. Conceptos generales. (n.d.). Retrieved June 25, 2023, from https://www.depuradoras.es/blog/248_bacterias-para-tratamiento-de-aguas-residuale

Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111–126. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V7N4.118>

Barajasclaudia. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR MEDIO DEL USO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL.*

Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Dávila-Acedo, M. A. (2011). Optimization. *Journal of Hazardous Materials*, 186(2–3), 1704–1712. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.075>

Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Gómez-Muñoz, M. C. (2010). New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation. *Chemical Engineering Journal*, 162(3), 1019–1025. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.07.011>

BELZONA. (n.d.). *Tratamiento de Aguas Residuales mapa de la plata.*

Biolo, L. (2006). *Composición para mejorar la regulación de la glicemia y la acción de la insulina, por vía nutritiva.*

BIORACOL. (n.d.). *FICHA TÉCNICA ALUMBRE GRANULAR T-A.*

Burgstaller, D., Krepper, W., Haas, J., Maszelin, M., Mohoric, J., Pajnic, K., Jungbauer, A., & Satzer, P. (2018). Continuous cell flocculation for recombinant

antibody harvesting. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 93(7), 1881–1890. <https://doi.org/10.1002/JCTB.5500>

Cabrera Bermúdez, C., Ramírez, F., & Moya, C. (2009a). XXIX, núm. 3, septiembre-diciembre. *Tecnología Química*, 64–73.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>

Cabrera Bermúdez, C., Ramírez, F., & Moya, C. (2009b). XXIX, núm. 3, septiembre-diciembre. *Tecnología Química*, 64–73.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>

Camargo Valero, M., & Eduardo Cruz Torres, L. (n.d.). *Remoción de Sustancias Húmicas por Coagulación con Alumbre*.

Camila, M., & Duque, Q. (2018). *TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS PROVENIENTES DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA MEDIANTE EL USO DE TANINO MODIFICADO DE ACACIA*.

Carpinteyro Urbán, S. L. (2016). *Tratamiento de aguas residuales empleando polímeros naturales y biodegradabilidad de los lodos generados*.
<http://tesis.ipn.mx/xmlui/handle/123456789/19805>

CCH. (n.d.). *Polisacáridos* | *Portal Académico del CCH*. Retrieved June 18, 2023, from

<https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/quimica2/unidad2/carbohidratos/polisacaridos>

CEUPE. (n.d.). *Coagulación y floculación*. Retrieved June 18, 2023, from <https://www.ceupe.com/blog/coagulacion-y-floculacion.html>

Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: MÉTODOS DE DESPOLIMERIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS AROMÁTICOS DE INTERÉS INDUSTRIAL LIGNIN, STRUCTURE AND APPLICATIONS: DEPOLYMERIZATION METHODS FOR OBTAINING AROMATIC DERIVATIVES OF INDUSTRIAL INTEREST. In *Av. cien. ing* (Vol. 4, Issue 4). Chávez-Sifontes & Domine. http://www.exceedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/15

Choy, S. Y., Prasad, K. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2016). Performance of conventional. *Ecological Engineering*, 94, 352–364. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.082>

Ciencias En Innovación Biotecnológica, M. E., BRUNET MERARY ARRAZATE ZAZUETA Director Jorge del Real Olvera Asesores Oscar Aguilar Juárez MCy T Jorge Eduardo García Camacho GUADALAJARA, I. B., & Mayo, J. (n.d.-a). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE FERTILIZANTE ORGÁNICO LÍQUIDO CON ALTA CARGA DE NITRÓGENO TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE PRESENTA.*

Ciencias En Innovación Biotecnológica, M. E., BRUNET MERARY
 ARRAZATE ZAZUETA Director Jorge del Real Olvera Asesores Oscar Aguilar
 Juárez MCy T Jorge Eduardo García Camacho GUADALAJARA, I. B., & Mayo, J.
 (n.d.-b). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL
 PROCESO DE ELABORACIÓN DE FERTILIZANTE ORGÁNICO LÍQUIDO CON
 ALTA CARGA DE NITRÓGENO TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO
 ACADEMICO DE PRESENTA.*

Claudia Viviana Delgado Carreño. (2016). *Evaluación de parámetros físicos,
 químicos y biológicos de floculantes naturales y químicos en 3 tipos de agua
 residual pre y post tratamiento.*

COAGULANTE: SULFATO FÉRRICO – Greentech. (n.d.). Retrieved June 25,
 2023, from <https://greentech.com.uy/producto/coagulante-sulfato-ferrico/>

Coagulantes para tratamiento de agua – Tratamiento del Agua. (n.d.). Retrieved
 June 18, 2023, from [https://www.tratamientodelagua.com.mx/coagulantes-para-
 tratamiento-de-agua/](https://www.tratamientodelagua.com.mx/coagulantes-para-tratamiento-de-agua/)

Contreras Lozano, K. P., Mendoza, J. Y. A., Salcedo Mendoza, G., Olivero
 Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. P. (2015). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como
 coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción +
 Limpia*, 10(1), 40–50.
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-
 04552015000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

Corto, A., Guzmán, IUIS C., Antonio Taron, Arnú. D., & Núñez, A. M. (2015). Polvo de la semilla cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 123–129. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)123-129](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)123-129)

CYCLUS. (n.d.). *Tratamiento Secundario - Cyclus ID*. Retrieved June 25, 2023, from <https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-secundario/>

Cyril Fournieris. (n.d.). *Algas para resolver el tratamiento de las aguas residuales* | *Euronews*. Retrieved June 25, 2023, from <https://es.euronews.com/next/2019/08/26/algas-para-resolver-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales>

David Coello Cedeño. (2021). (PDF) *Uso del cactus Opuntia soederstromiana (Tuna) en la remoción de la turbidez del agua*. https://www.researchgate.net/publication/351513434_Uso_del_cactus_Opuntia_soederstromiana_Tuna_en_la_remocion_de_la_turbidez_del_agua

David Nuevo. (2018a). *Tratamiento secundario de aguas residuales* | *Formación de ingenieros*. <https://www.tecpa.es/edar-tratamiento-secundario-depuracion-aguas/>

David Nuevo. (2018b). *Tratamiento secundario de aguas residuales* | *Formación de ingenieros*. <https://www.tecpa.es/edar-tratamiento-secundario-depuracion-aguas/>

De Ciencias, F., & Lavado, F. S. (2007). *UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA TESIS DOCTORAL Tratamientos combinados físico-químicos y de oxidación para la depuración de aguas residuales de la industria corchera.*

<http://www.unex.es/publicaciones>

De, E., Moringa, L. A., El, E. N., De, T., Residuales, A., Fernando Mera-Alegria, C., Lieset Gutiérrez-Salamanca, M., Montes-Rojas, C., & Pablo Paz-Concha, J. (2016). EFECTO DE LA Moringa oleífera EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CAUCA, COLOMBIA. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 100–109.

[https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)100-109)

De Paula, H. M., De Oliveira Ilha, M. S., & Andrade, L. S. (2014). Concrete plant wastewater treatment process. *Journal of Cleaner Production*, 76, 125–130.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.031>

De Post-Grado, D., De Plantas, E., Del, Y., De, R., Chatarra, L. A., & El, P. (n.d.-a). *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FRANCISCO MORAZÁN VICE-RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POST GRADO "COAGULANTES-FLOCULANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.*

De Post-Grado, D., De Plantas, E., Del, Y., De, R., Chatarra, L. A., & El, P. (n.d.-b). *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FRANCISCO MORAZÁN VICE-RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POST GRADO "COAGULANTES-FLOCULANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.*

De Post-Grado, D., De Plantas, E., Del, Y., De, R., Chatarra, L. A., & El, P. (n.d.-c). *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FRANCISCO MORAZÁN VICE-RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POST GRADO "COAGULANTES-FLOCULANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.*

De Post-Grado, D., De Plantas, E., Del, Y., De, R., Chatarra, L. A., & El, P. (n.d.-d). *UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FRANCISCO MORAZÁN VICE-RECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POST GRADO "COAGULANTES-FLOCULANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.*

Dialnet-TratamientoDeAguasResidualesDelProcesoDeExtraccion-4845176.
(n.d.).

Dialnet-TratamientoDeAguasResidualesDelProcesoDeExtraccion-4845176 (1).
(n.d.).

Dobiáš, B., & Stechemesser, H. (2005). *Coagulation and flocculation.* 861.

Dr. Germán Buitrón Méndez. (2018). *tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.*

Edwin Geovani Turcios Flores. (2019). *Artículo científico.*

Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, & Christop. (2014). *Sedimentador | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!* <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/sedimentador>

ENGENHARIA. (2019, July). *Reactor UASB: Sepa que és y como funciona | Águas Claras Engenharia*. <https://aguasclarasengenharia.com.br/reactor-uasb-sepa-que-es-y-como-funciona/>

Equipo Flowen. (2022, July 27). *Coagulación y Floculación en el tratamiento de aguas*. <https://flowen.com.pe/coagulacion-y-floculacion-en-el-tratamiento-de-aguas/>

Fibras y Normas de Colombia SAS. (2014). *Desarenadores: Definición, estructura y ventajas - Blog Educativo*. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/desarenadores-definicion-estructura-y-ventajas/>

Francisco, C., Salcedo, R., & De Sucre, U. (n.d.). *FACULTAD DE INGENIERIA DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL OCTUBRE DE 2008*.

Francisco, G., & Andrade, T. (n.d.). *TESIS DOCTORAL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN Y BIOFILTROS*.

Gabriel, L., Duran, C., Ximena, L., & Molina, C. (n.d.). *EVALUACIÓN DE LA OPUNTIA FICUS INDICA (CACTUS) COMO COAGULANTE NATURAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA EMSERVILLA EN EL MUNICIPIO DE UBATÉ*.

GEMMA ARINTZY MORENO CABRERA. (2018). *LA CIENCIA SIN VIRTUD FORMA TIRANOS Y LA VIRTUD SIN CIENCIA FORMA MAESTROS NECIOS E INEPTOS* .:.

Grupo Acura. (2023, March 21). *Coagulación y floculación para tratamiento de aguas* | Grupo Acura. <https://grupoacura.com/es/blog/coagulacion-floculacion/>

Guy Sela. (2019). *Tratamiento de aguas residuales* | Cropaia. <https://croipaia.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales/>

Guzmán, L. C., Antonio Taron, A. D., Núñez, A. M., & Corto, A. (2015). POLVO DE LA SEMILLA *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 123–129. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)123-129](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)123-129)

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES: UNA REVISIÓN. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262013000100029&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Hancoo Quispe, J. K., Borda Colque, J. P., Mamani Chambi, Y. A., Ticona Salluca, H., Ibañez Quispe, V., Canqui Flores, B., Mendoza Mollocondo, C. I., Coylla Idme, L., Torres-cruz, F., Hancoo Quispe, J. K., Borda Colque, J. P., Mamani Chambi, Y. A., Ticona Salluca, H., Ibañez Quispe, V., Canqui Flores, B., Mendoza

Mollocondo, C. I., Coyla Idme, L., & Torres-cruz, F. (2023). TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA. *CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS: INOVAÇÕES E AVANÇOS EM PESQUISA - VOLUME 1*, 1(1), 289–305.
<https://doi.org/10.37885/230312583>

Herrera Alanis, & José Luis. (2002). *Repositorio de Tesis DGBSDI: Aspectos teoricos para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*.
https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000307302

Herrera, M. *. (n.d.). @LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA EVALUACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA COMO FLOCULANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS
 EVALUATION OF POTATO STARCH AS FLOCCULANT FOR THE TREATMENT OF DOMESTIC SEWAGE.

Hugo Matías Jeldres Valenzuela. (2017). *Tesis_uso_de_Goma_Guar*.

Ing. Guy Sela. (n.d.). *La coagulación en el tratamiento de aguas | Cropaia*. Retrieved June 18, 2023, from <https://cropaia.com/es/blog/la-coagulacion-en-el-tratamiento-de-aguas/>

Ing. Jorge A. Orellana. (n.d.).
Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.

Ing. Rebeca Abigail Poveda Ocaña. (2022). *OBTENCIÓN DE COAGULANTES / FLOCULANTES ORGÁNICOS A PARTIR DE EXTRACTOS NATURALES Y EVALUACIÓN DE SU POTENCIAL COMO COADYUVANTE EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA.*

IQR. (2020). *¿Qué es un tanque de igualación?*
<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/06/que-es-un-tanque-de-igualacion.html>

Jairo, J., Díaz, F., Bermúdez Roa, S., María, A., & Tordecilla, E. (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, 9(1), 9–22.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552014000100001&lng=en&nrm=iso&tlng=es

JENNY MERCEDES ALFARO MELGAR, JOSE LUIS CARRANZA CISNEROS, & ITALO GONZALEZ REYES. (2012, August). *DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO, AGUAS LLUVIAS Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN ISIDRO, DEPARTAMENTO DE CABAÑAS.*
<https://vdocuments.mx/engineering/11227466.html?page=1>

John Jairo Feria. (2014). *Modelo de Superficie de respuesta para estimar dosis de coagulante* | *Download Scientific Diagram.*

https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Modelo-de-Superficie-de-respuesta-para-estimar-dosis-de-coagulante_fig1_313023431

JOVE Fernando. (2020). *Uso del quitosano como cuagulante natural en el tratamiento de aguas: una breve revisión.*

KAREN MARIANA MORENO CHAVARRO, & ANYI YULIE LAMPREA GARCÍA. (2022). *UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEPARTAMENTO DE QUÍMICA BOGOTÁ 2022.*

Kassandra Huerta Calleja. (n.d.). *El coagulante en el tratamiento de aguas | Contyquim.* Retrieved June 25, 2023, from <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>

Khaterin, J., Leyva, G., Camila, M., & Mican, F. (2018). *Evaluación de la semilla de moringa como coagulante en aguas residuales de curtiembre.* https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria.

Lander Rodriguez de Jorge. (n.d.). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes | iAqua.* Retrieved June 18, 2023, from <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

Laura F. Zarza. (n.d.). *¿Qué son las aguas residuales? | iAqua.* Retrieved June 18, 2023, from <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

LENNTECH. (n.d.). *Que es la desinfeccion del agua?* Retrieved June 18, 2023, from <https://www.lennotech.es/procesos/desinfeccion/que-es-desinfeccion.htm>

Licda. MARICRUZ VARGAS C., & MSc LUIS GUILLERMO ROMERO E. (n.d.). *desarrollo-coagulantes-floculantes-tratamiento-aguas*.

Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014a). Physical-Chemical Treatment of Wastewater from the Benefit Process of Clays and Alternative uses of the Sludge Generated by the Process. *Información Tecnológica*, 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>

Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., & Ríos, L. A. (2014b). Tratamiento Fisicoquímico de las Aguas Residuales Generadas en el Proceso de Beneficio de Arcillas y Alternativas de Uso de los Lodos Generados en el Proceso. *Información Tecnológica*, 25(3), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>

LMI. (n.d.). *Coagulación y Floculación en el tratamiento de agua | LMI Pumps*. Retrieved June 18, 2023, from <https://www.lmipumps.com/es-co/technologies/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment>

Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqw, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... (2013). فاطمی, ح. Synteza i aktywność biologiczna nowych analogów tiosemikarbazonowych chelatorów żelaza. *Uniwersytet Śląski*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>

Maria Emilia Carretero Accame. (n.d.). *MORINGA OLEIFERA* María Emilia Carretero Accame. Retrieved June 18, 2023, from <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/plantox/textResults.cfm>

Mariel Zerballo, Elena Carrera, Maria S, Laura Modini, & Stella Vaira. (2009). *fabiola,+Gestor_a+de+la+revista,+Cloruro+Férrico+para+la+coagulación_abstract+camb2*.

Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E., & Fernández, N. (2003). EFICIENCIA DEL CACTUS LEFARIA PARA SU USO COMO COAGULANTE EN LA CLARIFICACIÓN DE AGUAS. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 26(1), 27–33. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702003000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Mayerlin, L., Pulido, C., De, T., Presentado, G., Parcial, R., Optar, P., & El, P. (n.d.). *Evaluación de la Remoción de la Turbidez del Agua del Rio Fucha por Medio del Fruto de la Planta Arbustiva Cactus (Opuntia ficus indica) como Coagulante Natural. Autor*.

Meza-Leones, M., Riaños Donado, K., Mercado Martínez, I., Olivero Verbel, R., & Jurado Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95–104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>

MICRONICS. (n.d.). *Qué es la deshidratación de lodos y aplicaciones más comunes*. Retrieved June 19, 2023, from <https://www.micronicsinc.com/es/filtration-news/what-is-sludge-dewatering/>

Mónica, E., & Sardi, L. (n.d.). *Fabricación de pasta de celulosa Aspectos técnicos y contaminación ambiental*.

Nacional Abierta Y A Distancia -Unad, U. (2017). *ANYELA PATRICIA MÁSMELA ROZO NATHALY AGUILAR CRISTANCHO*.

Nihon Kasetu. (n.d.). *El mecanismo de coagulación y floculación – Nihon Kasetu Europe | Monitoring & Water Clarification*. Retrieved June 18, 2023, from <https://nihonkasetu.com/es/el-mecanismo-de-coagulacion-y-floculacion/>

Nijhuis. (n.d.). *Sistemas de Flotación por Aire Disuelto | Eliminar TSS, DBO5, FOG o P - Nijhuis Industries*. Retrieved June 19, 2023, from <https://www.nijhuisindustries.com/es/solutions/sistema-de-flotaci%C3%B3n-por-aire-disuelto>

Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001a). Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, 35(3), 830–834. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00296-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00296-7)

Okuda, T., Baes, A. U., Nishijima, W., & Okada, M. (2001b). Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research*, 35(2), 405–410. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00290-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00290-6)

Olivero, R. E., Luis, V., Vega, M., Glenda, F., & Villegas De Agua, P. (2020).
Colección Investigación y Desarrollo para todos. www.ditar.co

Olson, M. E., & Alvarado-Cárdenas, L. O. (2016a). ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleifera*, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1089–1102.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.007>

Olson, M. E., & Alvarado-Cárdenas, L. O. (2016b). ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleifera*, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1089–1102.
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.007>

Orlando D. Gutierrez Coronado. (2022, June). (5) ¿QUÉ ES UN TANQUE SÉPTICO Y COMO FUNCIONA? | *LinkedIn*.
<https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-un-tanque-s%C3%A9ptico-y-como-funciona-guti%C3%A9rrez-coronado/?originalSubdomain=es>

Ortega Ramírez, A. T., Sánchez Rodríguez, N., Ortega Ramírez, A. T., & Sánchez Rodríguez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121–134.
<https://doi.org/10.18359/RCIN.5343>

PERALTA CHICA JORDAN RICARDO. (2018, May). *Peralta Cuaderno Digital Silabo PDF | PDF | Aguas residuales | Naturaleza*.
<https://es.scribd.com/document/394946413/Peralta-Cuaderno-Digital-Silabo-PDF>

Policloruro de aluminio – Cinética Química. (n.d.). Retrieved June 25, 2023, from <https://policlorurodealuminio.com/>

ProMient. (n.d.). *Tratamiento de aguas residuales en la industria papelera y de celulosa - ProMient*. 2017. Retrieved June 25, 2023, from <https://www.prominent.es/es/Aplicaciones/Detalles-de-la-aplicaciones/Tratamiento-de-aguas-residuales-en-la-industria-papelera-y-de-celulosa.html>

PUMOSTOP. (n.d.). *Bomba de Trituradora para Agua Negras - Eyectora para drenaje, 1.2 a 2 — Pump Stop Online S.A.S*. Retrieved June 25, 2023, from <https://www.pumpstoponline.com.co/products/bomba-de-agua-negras-trituradora-sumergible-calpeda>

QUIFRANSA. (n.d.). *Policloruro de Aluminio - Distribución de Productos Químicos*. Retrieved June 18, 2023, from <https://quifransa.com/policloruro-de-aluminio/>

Ascensión Sanz Tejedor. (n.d.). *Química Orgánica Industrial*. Retrieved June 25, 2023, from <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

QUIMICA.ES. (n.d.-a). *Coagulación*. Retrieved June 18, 2023, from <https://www.quimica.es/enciclopedia/Coagulaci%C3%B3n.html>

QUIMICA.ES. (n.d.-b). *Tanino*. Retrieved June 25, 2023, from <https://www.quimica.es/enciclopedia/Tanino.html>

QUIMINET. (2021). *Usos de la Goma Guar | QuimiNet*.

<https://www.quiminet.com/articulos/usos-de-la-goma-guar-2651170.htm>

Ramírez Arcila, H., & Jaramillo Peralta, J. (2015). Agentes Naturales. *Facultad de Ciencias Básicas UMNG*, 11(2), 136–153. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>

Ramírez Arcila, H., Jhoan, •, & Peralta, J. (2015). *UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA AGENTES NATURALES COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA AGENTS AS NATURAL ALTERNATIVE FOR WATER TREATMENT*. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1303>

Ramírez-Ramírez, N., Espinosa-Lloréns, M. del C., Fernández-García, L. A., Véliz-Lorenzo, E., Ramos-Rodríguez, Y., Ramírez-Ramírez, N., Espinosa-Lloréns, M. del C., Fernández-García, L. A., Véliz-Lorenzo, E., & Ramos-Rodríguez, Y. (2016). Tratamiento con ozono de agua residual con taninos de curtiduría al vegetal. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(3), 53–73. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000300053&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Ramón Zamora, F., Rodríguez Guevara, N. J., Torres Rodríguez, D. G., & Yendis Colina, H. J. (2009). Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. *Agricultura Técnica En México*, 35(2), 211–218. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000200008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Renault, F., Sancey, B., Badot, P. M., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337–1348. <https://doi.org/10.1016/J.EURPOLYMJ.2008.12.027>

Rennola, L., Yépez, C., Bullón, J., & Salazar, F. (2007). Tratamiento de las aguas residuales de una destilería mediante el uso de coagulantes y membranas. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 30(ESPECIAL), 11–19. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702007000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Röder, J., Villavicencio, R., & Zarazúa, P. (2011). Procedimiento, aditivos y formulacion para el tratamiento de vinazas. *XVII Semana de La Investigación Científica*, 156–162. http://www.floradejalisco.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances_2006/Agronomia/RoederJan/Roeder_Jan.pdf

Rodríguez Jiménez, D. M., Gallego Suarez, D. de J., Rodríguez Jiménez, D. M., & Gallego Suarez, D. de J. (2019). Evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 6–17. <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.BIOTE.V21N1.73340>

Rodríguez-Jiménez, D. M., Rodríguez-Díaz, Y. J., & Burbano-Erazo, E. (2022). Chitosan applied in the treatment of wastewater from palm oil production. *Agronomia Mesoamericana*, 33(1). <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44288>

Romero-Sevilla, M. L., Sánchez-Cuadra, S. M., & Benavente Silva, M. (2018). Aplicación de quitosano modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías. *Nexo Revista Científica*, 31(2), 104–119.
<https://doi.org/10.5377/nexo.v31i2.6834>

Rubén Darío Candela Orduz. (2016). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica*.

Salome Arcos, E. J., & Salvatierra Huaman, J. A. (2019). *Evaluación de la concentración de la semilla de Cassia fistula como coagulante natural y el tiempo de agitación, en el tratamiento de aguas para la potabilización en la Unidad Minera Poderosa – Huancavelica*.

Silvan, R. S., Ramón, J., Canepa, L., Roberto, J., & Barajas, H. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 229–236.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

SPENA. (2016, December). *Tratamiento Primario del Agua y Aguas Residuales - Sistemas de Filtración - SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales*.
<https://spenagroup.com/tratamiento-primario-aguas-residuales-sistemas-filtracion/>

Sulfato de cobre x 25 Kg | Aquaintegral. (n.d.). Retrieved June 25, 2023, from <https://aquaintegral.co/producto/sulfato-de-cobre-x-25-kg/>

Tarón-Dunoyer, A. A., Guzmán-Carrillo, L. E., & Barros-Portnoy, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *Orinoquia*, 21(1), 73. <https://doi.org/10.22579/20112629.396>

Tarón-Dunoyer, A. A., Guzmán-Carrillo, L. E., Barros-Portnoy, I., Tarón-Dunoyer, A. A., Guzmán-Carrillo, L. E., & Barros-Portnoy, I. (2017). Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. *ORINOQUIA*, 21(1), 73–78. <https://doi.org/10.22579/20112629.396>

Telwesa. (2021). *Tratamiento terciario de aguas residuales - Telwesa*. <https://telwesa.com/tratamiento-terciario-de-aguas-residuales/>

THE DECLARATION. (2021). *UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY REGION 2 PART 1-THE DECLARATION RECORD OF DECISION DORADO GROUNDWATER CONTAMINATION SITE DORADO, PUERTO RICO*.

Tratamiento de aguas residuales. (n.d.). Retrieved June 18, 2023, from https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.7_Servicios/data_servicios/tratamientos.htm

Tratamiento secundario – TSS Internacional. (n.d.). Retrieved June 25, 2023, from <http://tssinternacional.com/tratamiento-secundario/>

TREVI nv. (n.d.). *Trevi Environmental Solutions - Rejillas y tamices*. Retrieved June 19, 2023, from <https://www.trevi-env.com/es/agua/agua-overzicht/137-agua-techniekfiches/448-rejillas-y-tamices>

Trujillo, D., Luisa, ;, Duque, F., Sebastián Arcila, J., Rincón, A., Sebastián, ;, Oscar, P. ;, & Herrera, F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17–34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Usos industriales del cloruro de calcio - TETRA Technologies, Inc. (n.d.). Retrieved June 25, 2023, from <https://tetrathec.com/es/calcium-chloride/industrial/>

Vinueza, C. (n.d.). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA EN FILTRO ANAEROBIO: INFLUENCIA DEL MEDIO DE SOPORTE*. Retrieved June 25, 2023, from https://www.academia.edu/29253909/TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DEL_PROCESO_DE_EXTRACCI%C3%93N_DE_ALMID%C3%93N_DE_YUCA_EN_FILTRO_ANAEROBIO_INFLUENCIA_DEL_MEDIO_DE_SOPORTE

Virginia Casas Arrojo. (2023). *Estudio de los polisacáridos de algas con actividad antioxidante, inmunomoduladora y citotóxica sobre las líneas celulares tumorales humanas. Posible fuente de compuestos nutraceuticos*.

WILLIAM ANDRÉS ARISMENDI ESPINOSA. (2016). *EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD FLOCULANTE DE TANINOS*

MODIFICADOS (QUEBRACHO, ACACIA, CASTAÑO) Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437–1444.

<https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2010.05.030>