

Tratamiento de aguas pluviales a partir de coagulantes naturales para uso doméstico

Diana Marcela Méndez León
Diego Leonardo Calderón Idárraga

Docente Proyecto de integración
Juan Diego Granada Suarez

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Proyecto de Grado
Bogotá, Colombia

2023

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de Figuras	4
Tabla de Tablas	5
1. Resumen ejecutivo.....	6
2. Introducción	6
3. Objetivo General	7
3.1 Objetivos específicos	7
4. Definición del problema.....	7
5. Justificación	8
6. Análisis de restricciones.....	9
6.1 Ambientales	9
6.2 Económicas	10
6.3 Legales.....	10
6.4 Políticas	11
6.5 Socioculturales.....	11
6.6 Salud.....	12
7. Selección y desarrollo de las restricciones.....	12
7.1 Ambientales	12
7.2 Económicas	12
7.3 Legales.....	13
7.4 Políticas	13
7.5 Socioculturales.....	14
7.6 Salud.....	14
8. Marco de referencia	14
8.1 El Agua.....	14
8.2 ¿Qué es tratamiento de aguas residuales?	15
8.3 Justificación para tratamiento de Aguas residuales	16
8.4 Tratamiento Primario: Coagulación /Floculación	19
8.5 Coagulantes/Floculantes naturales	19
8.6 Mucilago de nopal Opuntia ficus-indica	20
8.7 Sulfato de Aluminio H ₂ SO ₄	21
8.8 Efectos secundarios de los coagulantes/floculantes	21
8.9 Impacto de las aguas residuales en la salud.....	22

8.10	Recomendaciones de las aguas residuales.....	24
9.	Antecedentes en los coagulantes naturales (Opuntia ficus-indica(investigaciones)	25
9.1	Extracción y Caracterización de los Coagulantes	25
10.	Metodología para el desarrollo de tratamiento de aguas residuales pluviales a partir de Coagulantes naturales para uso domestico.....	27
10.1	Plan de generación experimental de tratamiento de aguas	27
10.2	Realización experimental del Coagulante a base de la planta Opuntia Ficus-Indica.	27
11.	Análisis de resultados.....	34
11.1	Sulfato de Aluminio (H ₂ SO ₄) / planta Opuntia ficus-indica.....	34
12.	Análisis de costos.....	38
12.1	Costos Directos	38
12.2	Costos Indirectos	39
12.3	Costos Fijos.....	40
12.4	Depreciación de Equipos	41
12.5	Gastos Generales	42
12.6	Capital.....	43
13.	Conclusiones	43
14.	Recomendaciones	44
	Referencias.....	46

Tabla de Figuras

Figura 1	30
Figura 2	31
Figura 3	31
Figura 4	32
Figura 5	32
Figura 6	33
Figura 7	34

Tabla de Tablas

Tabla 1	34
Tabla 2	37

1. Resumen ejecutivo

El proyecto final consiste en la identificación de un coagulante natural por medio de prácticas de laboratorio con el fin de aplicar conceptos y teoría abordados a lo largo de la unidad de estudio proyecto de grado. En este trabajo se expondrán criterios aplicados en la transversalidad de la química orgánica e ingeniería ambiental, bajo la prueba de experimentos donde se busca establecer nuevas alternativas en coagulación, que presente igual o mayor rendimiento para el tratamiento de aguas, por medio del hidrato de sulfato de aluminio y coagulante natural. Determinando el PH, la dosis optima del coagulante y experimentos de lotes.

Palabras clave. Coagulación, floculación, test de jarras y opuntia ficus- indica, aguas pluviales.

2. Introducción

El agua es un recurso invaluable y cada vez más escaso debido a la contaminación e ineficiencia causada en gran parte por el aumento de la población y la creciente demanda de agua. Para lograr que el agua sea segura al momento de su consumo, se deben realizar ciertos procesos como lo son la eliminación de sedimentos, la clarificación y la desinfección, además de ajustar su composición química y sabor. Un paso esencial en este proceso es la coagulación - floculación, que busca juntar las partículas suspendidas en el agua para posteriormente ser eliminadas a través de la decantación y la filtración, lo que resulta en la extracción de lodo. En algunas partes de América Latina, como Colombia se usa Sulfato de Aluminio (H_2SO_4) como coagulante, sin embargos estudios demuestran que su gestión es perjudicial para la salud humana.

Por lo tanto, es importante realizar un estudio y examinar plantas no toxicas para el consumo humano y evaluar su eficiencia y eficacia como alternativas a la mitigación de

productos químicos. Algunas de estas plantas contienen coagulantes naturales que se conocen por contener una sustancia viscosa en su interior de aspecto similar al gel denominado mucilago. Con el tiempo se han realizado investigaciones y estudios previos que han determinado que este tipo de plantas contiene más de 130 compuestos, incluyendo polisacáridos con diferentes proporciones de manosa, glucosa y galactoglucoarabinomanos entre otros (SEDAPAL 2006).

3. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de un coagulante natural para la remoción de turbiedad del agua lluvia en la Universidad EAN.

3.1 Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad del coagulante natural para funcionar como floculante en la eliminación de partículas suspendidas durante el tratamiento de agua para el uso doméstico
- Identificar los indicadores que señalan la presencia de partículas suspendidas en la captación de agua destinada al tratamiento para uso doméstico
- Establecer la cantidad ideal de coagulantes naturales necesarios para eliminar las partículas en suspensión en el proceso de tratamiento de aguas residuales.
- Investigar y determinar alternativas para el uso de Sulfato de aluminio como coagulante para prevenir posibles enfermedades asociadas
- Realizar prueba de jarras para comparar la eficiencia y eficacia de dichos coagulantes

4. Definición del problema

¿Cómo se puede desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales efectivo y asequible para uso doméstico, utilizando coagulantes naturales, con el fin de mejorar la calidad

del agua y promover prácticas sostenibles de gestión de aguas residuales a nivel de hogares? El agua es fundamental para la vida del ser humano, rara vez se encuentra completamente pura en la naturaleza. Por ejemplo, el agua de lluvia, al estar en contacto con el aire, absorbe elementos como el oxígeno, nitrógeno, partículas de aceite y gotas de humo entre otros elementos. Durante las épocas de lluvia el agua entra en contacto con el suelo lo que permite dispersar sustancias químicas lo que genera daños en la calidad del agua de los ríos.

En la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas superficiales, la medición de la turbidez se considera un indicador primordial dado que actúa como un proxy del contenido de material coloidales, minerales y compuestos orgánicos en el agua, lo que, a su vez, puede generar presencia de agentes contaminantes como lo ha señalado previamente (Espigares y Fernández,1999). Es por esto por lo que se busca establecer alternativas en coagulación, que difieran en las tradicionales y presente igual o mayor rendimiento para el tratamiento de agua. Es así como se espera conocer el rendimiento entre el coagulante de hidrato de sulfato de aluminio y el coagulante natural en el proceso de clarificación de agua ya que esto reafirma solución a un fenómeno social, ambiental y económico en busca de la sostenibilidad, sumando a la practicidad que se puede presentar al llevarlo a cabo, puesto que no requiere materiales de alta tecnología y accesible para toda la población.

5. Justificación

En la sociedad actual, se evidencia día a día una falencia en forma creciente sobre la falta de precaución y solución natural a la contaminación y vertimiento de aguas sin tratar y para el año 2025 se espera que 1800 millones de personas vivan en países con escasez de agua absoluta

(Organización de Naciones Unidas [ONU], 2015). Colombia a pesar de su diversidad en el recurso hídrico no es ajeno a este tipo de problemáticas en especial por las actividades antropogénicas que a diario revisten daños irreversibles, a dicha problemática también se suman una deficiente infraestructura la cual genera que el agua llegue con un conjunto materia orgánica al consumidor final puesto que el arrastré del líquido se mezcla con las soluciones o componentes con que esta ha sido tratada, por ello se determinada generar un tratamiento de agua por lotes a una actividad de uso doméstico y comercial el cual se basa en el uso y elaboración de jabón de varios usos. Que a su vez tiene un vertimiento exponencial por el aumento en uso de lavadoras y similares en labores cotidianas. Se anticipa que los datos recolectados sirvan como cimiento para estudios posteriores que puedan determinar la factibilidad de emplear coagulantes naturales a nivel industrial en las etapas de purificación para aguas residuales pluviales y así mismo evaluar la posibilidad de potabilizarla.

6. Análisis de restricciones

6.1 Ambientales

Aun que se utilizaran coagulantes naturales, es importante evaluar su toxicidad y su impacto en el medio ambiente acuático para evitar efectos adversos en los organismos acuáticos, por otra parte, la recolección de plantas naturales como ciertas plantas puede tener un impacto

ambiental si no se realiza de manera sostenible ya que es importante garantizar la conservación de los recursos naturales utilizados en este proyecto.

6.2 Económicas

La construcción y la puesta en marcha de una planta de tratamientos de aguas residuales con coagulantes naturales puede requerir una inversión significativa en infraestructura, equipos y personal, por otra parte, los coagulantes naturales pueden ser costosos en comparación con los productos químicos convencionales.

6.3 Legales

Leyes de calidad de agua: Colombia tiene normas de calidad del agua como la resolución 0631 de 2015 que establecen los límites máximos de calidad de agua para consumo humano, la resolución 1541 de 2018 regula los vertimientos y descargas de aguas residuales, la Norma NTC 45001 incluye aspectos de seguridad y salud en la protección del agua, es crucial considerar los estándares que establece la normativa de calidad de agua y que los efluentes deben cumplir

Permisos de descarga: Para llevar a cabo este proyecto es necesario contar con permisos de descarga (resolución 1541 de 2018), las instalaciones de tratamientos de agua residuales requieren de estos permisos que especifican las condiciones y límites de liberación de efluentes.

Control de sustancias peligrosas: Colombia regula el almacenamiento, uso y manejo de productos químicos y coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

Protección de ecosistemas acuáticos: La ley 99 de 1993 aborda diversos temas vinculados con la preservación del entorno natural, incluyendo la creación de áreas protegidas, la

conservación de los recursos naturales, la evaluación de impacto ambiental, la prevención y control de la contaminación y la promoción del desarrollo sostenible.

Control de Monitoreos: Los tratamientos de aguas residuales están en la obligación de realizar monitoreos constantes y reportar los resultados a las autoridades ambientales para verificar el cumplimiento de las normas.

6.4 Políticas

Desarrollo Sostenible: Las políticas Gubernamentales pueden promover o exigir prácticas de tratamiento de aguas residuales sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Financiamiento: Estas restricciones políticas pueden afectar la disponibilidad de financiamiento para el proyecto.

Propiedad Intelectual: Si el proyecto implica la creación de nuevos procesos o productos, es crucial considerar cuestiones de propiedad intelectual, como patentes y derechos de autor, para garantizar que se cumplan todas las leyes y regulaciones relacionadas con la propiedad intelectual en Colombia.

6.5 Socioculturales

Las comunidades locales pueden influir en este proyecto, la falta de participación y consulta con la comunidad en la planificación y ejecución del proyecto puede ser una restricción importante, por otra parte, las creencias culturales sobre el agua y sus tratamientos haría que los métodos de tratamientos entren en conflicto con estas creencias y ser resistidos por la comunidad.

6.6 Salud

Si el tratamiento de aguas residuales no se realiza adecuadamente, existe un riesgo de que el agua tratada quede con microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades como el colera o gastroenteritis.

7. Selección y desarrollo de las restricciones

7.1 Ambientales

Las soluciones a estas restricciones evaluadas para el tratamiento de aguas residuales a partir de los coagulantes sería promover el uso de coagulantes naturales sostenibles y de bajo impacto ambiental como extractos de plantas o sustancias biodegradables ejemplo: la moringa, la planta *Opuntia ficus-indica* estos reducen la carga de productos químicos en el proceso de coagulación, en el caso de los ecosistemas afectados, considerar proyectos de restauración de hábitats acuáticos que puedan ayudar a mitigar los impactos ambientales así mismo, es importante asegurarse de no agotar las poblaciones de cosechas de las plantas a recolectar y respetar los ciclos de generación, de igual modo es esencial realizar pruebas de toxicidad para evaluar el impacto ambiental de los coagulantes naturales utilizados , esto ayudara a identificar cualquier efecto adverso en los organismos acuáticos.

7.2 Económicas

Buscar la forma de optimizar los procesos de tratamiento de aguas residuales para reducir los costos operativos, esto incluye evaluar diferentes fuentes y tipos de coagulantes naturales para encontrar opciones más asequibles sin comprometer la calidad del tratamiento y así una reducción de coagulante necesario para la mejora y eficiencia en los tiempos de operación. Otra alternativa es realizar programas de captación por ejemplo capacitar al personal buscando que el

sistema de tratamiento y dosificación adecuada de coagulante natural sean eficientes, la captación adecuada puede ayudar a evitar errores costosos.

7.3 Legales

Normativa Cumplimiento a la calidad del agua: Realizar supervisión continua del agua procesada para garantizar el cumplimiento de las normativas establecidas en la resolución 0631 de 2015. Utilizar equipos de medición confiables y llevar registros precisos de los resultados.

Control de sustancias peligrosas: Asegura que el almacenamiento de productos químicos y coagulantes naturales se realice de acuerdo con las regulaciones colombianas, también utilizar instalaciones y practicas seguras para prevenir derrames y contaminación del suelo.

7.4 Políticas

Colaborar con las políticas Gubernamentales de desarrollo sostenibles relacionadas con el tratamiento de aguas residuales que permita alinear el proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las naciones unidas y las políticas nacionales de sostenibilidad, por otra parte la educación ambiental es primordial para llevar a cabo este proyecto, es crucial participar en programas de educación y sensibilización ambiental en colaboración con el gobierno para promover prácticas de tratamiento de aguas residuales y así mismo estos entren con mayor convicción a las comunidades y actores involucrados permitiendo así explorar fuentes de financiamiento alternativas como fondos de inversión para sostenibilidad o programas para la protección ambiental, además consultar abogados especializados en caso de que el proyecto conlleve nuevos procesos que permita patentar la idea.

7.5 Socioculturales

Establecer programas de participación para la comunidad, sesiones de dialogo en donde ellos puedan expresar sus inquietudes, preguntas o ideas para participar en la toma de decisiones para este tipo de proyectos ya que la aceptación de la comunidad es fundamental para el éxito a largo plazo de cualquier proyecto de tratamiento de aguas residuales, incluyendo a la comunidad es probable que el proyecto sea bien recibido y sostenible.

7.6 Salud

Es de vital importancia implementar un proceso de desinsectación adicional después del tratamiento con coagulantes naturales como por ejemplo la ozonización o cloración que son métodos eficaces para eliminar microorganismos patógenos así mismo realizar monitoreos para asegurar que se cumplan los estándares de calidad del agua en términos de eliminación de patógenos evitando infecciones y enfermedades bacteriológicas. Por otra parte la salud y seguridad de los involucrados en el proyecto es de suma importancia, proporcionar capacitaciones en seguridad EPP (elementos de protección personal), evaluaciones de riesgos y procedimientos seguros de trabajo , para residuos peligrosos, gestión ambiental y normativa de calidad del agua el desarrollo de la solución es cumplir con las regulaciones ambientales relacionadas, es decir, la preservación de los recursos naturales, la mitigación de la contaminación, y cumplimientos en los estándares de calidad de agua.

8. Marco de referencia

8.1 El Agua

El agua es componente esencial, fuente de toda la vida que cumple un rol significativo en el mundo desde tejidos animales y vegetales, hasta ser necesaria para la supervivencia humana y además sirve como transportador para funciones orgánicas.

En la naturaleza, el agua está presente en diferentes formas y características. Nuestro planeta alberga una asombrosa cantidad de 1,380 millones de kilómetros cúbicos de agua, pero actualmente se evalúa que la humanidad consume alrededor de una quinta parte de este recurso, principalmente en actividades agrícolas, por otra parte, el agua cubre el 72% de la superficie terrestre y constituye el 50 y 90% de la masa de los seres vivos, esto subraya la importancia y la omnipresencia del agua en la vida y en la tierra (Cruz, 2008).

8.2 ¿Qué es tratamiento de aguas residuales?

Es un proceso diseñado para eliminar contaminantes y materiales no deseados del agua usada, ya sea agua residual doméstica o agua residual industrial.

Las aguas residuales son aquellas que resultan de actividades humanas, en países de Latino América como Colombia estas aguas suelen ser clasificadas en dos categorías; las aguas residuales domésticas que son las que provienen de duchas, lavaderos, lavamos e inodoros, cocinas y preparación de alimentos (Carmen, 2021).

A su vez, las no domésticas resultan en su mayoría de actividades industriales y comerciales. Para ambos casos se hace necesario un adecuado tratamiento que en Colombia se enfoca en evitar la contaminación de los cuerpos hídricos y el reúso de las aguas, que dependerá del grado de depuración que se logró a través del tratamiento (Carmen, 2021).

La variabilidad en la composición de las aguas residuales es el resultado de una interacción compleja de múltiples factores ambientales. Estos factores incluyen el consumo promedio de agua por persona por día, que influye en la concentración de contaminantes en cantidad, y los patrones alimentarios de la población, que determinan la calidad química de dichos contaminantes. En términos generales, las aguas residuales consisten en aproximadamente

un 99.9% de agua, con el porcentaje restante compuesto por materia sólida. Esta materia sólida se subdivide en dos categorías: materia mineral y materia orgánica. La materia orgánica se origina a partir de subproductos descartados en actividades diarias y también esta influencia por la calidad del agua de suministro. Por otro lado, la materia orgánica en las aguas residuales es una consecuencia directa de las actividades humanas y compone de sustancias carbonáceas, proteínas y grasas (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

Según el Ministerio de Ambiente, en Colombia el 20 de enero del 2022 El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) según la resolución 1256 del 23 de noviembre de 2021, que reglamenta el uso de aguas residuales en el país, anunciaron una alternativa para zonas de escasez del líquido y a la que podrán aplicar las empresas de acueducto y otros usuarios del recurso hídrico, esta resolución es un instrumento valioso en el marco del uso eficiente del agua, y permite fomentar un mayor aprovechamiento de los recursos naturales, bajo el modelo de la economía circular, que promueve el reciclaje, la reducción y la reutilización (Ministerio de Ambiente, 2022). Así mismo se propone que las aguas residuales sean vistas como un recurso y no como un residuo con el fin de dar a conocer los beneficios de las aguas residuales en el país dando cumplimiento a la resolución 1256 de noviembre del 2021 la cual establece el aprovechamiento de los recursos naturales (Ministerio de Ambiente, 2022).

8.3 Justificación para tratamiento de Aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales se lleva a cabo con el propósito fundamental de prevenir la contaminación en sus diferentes formas, que abarcan la contaminación física,

química, bioquímica, biológica y radioactiva de los cuerpos de agua receptores. A continuación, se presentan los objetivos de dicho tratamiento.

- (a) Evitar daños a los sistemas de abastecimiento de agua, ya sean públicos, privados o industriales, con el fin de garantizar la disponibilidad de agua segura y potable
- (b) Prevenir la contaminación de cuerpos de agua utilizados para la recreación y actividades de esparcimiento, asegurando la integridad y salud de las comunidades que disfrutan de este recurso
- (c) Proteger las poblaciones de peces y la sostenibilidad de las actividades psíquicas, evitando la degradación de los ecosistemas acuáticos.
- (d) Salvaguardar la agricultura y mantener la calidad del suelo, impidiendo la depreciación de la tierra cultivable
- (e) Reducir el impacto negativo en el entorno ecológico y preservar la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos

El tratamiento de las aguas residuales se ha convertido en una necesidad imperante debido al crecimiento de la población, la expansión industrial y el desarrollo de la civilización.

Según lo establece el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, las razones que justifican el tratamiento de las aguas residuales pueden ser resumidas en cuatro puntos (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002):

- (a) Razones higiénicas o de salud pública.
- (b) Razones económicas.

(c) Razones estéticas.

(d) Razones legales (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002).

(d) Razones legales.

El tratamiento de aguas residuales implica una serie de etapas y procesos que varían según la fuente y la calidad del agua residual, a continuación, las etapas:

- Preliminar: en esta etapa se eliminan los materiales más grandes, como escombros, arena y grasa, para evitar que obstruya o dañen los equipos de tratamiento.
- Tratamiento primario: aquí se utilizan procesos físicos, como la sedimentación y la filtración, para eliminar sólidos suspendidos y materia orgánica. Esta etapa reduce la carga de contaminantes en el agua residual.
- Tratamiento secundario: se emplean procesos biológicos, como la activación de lodos o procesos de lodos activados, para descomponer y eliminar materia orgánica disuelta y suspendida.
- Tratamiento terciario: en algunas instalaciones se lleva a cabo un tratamiento adicional para eliminar contaminantes específicos, como microorganismos patógenos, metales pesados o compuestos químicos. Esto garantiza que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad del agua requerida.
- Desinfección: se utiliza un proceso de desinfección, típicamente con cloro, ozono o radiación ultravioleta para matar o inactivar microorganismos patógenos que puedan estar presentes en el agua tratada.

8.4 Tratamiento Primario: Coagulación /Floculación

Los procesos fisicoquímicos empleados en la eliminación de partículas coloidales de las aguas residuales industriales son fundamentales desde una perspectiva medioambiental. Esta eliminación se logra mediante la adición de un agente coagulante, cuya función primordial es neutralizar las cargas electrostáticas presentes en las partículas coloidales. Simultáneamente el agente coagulante provoca una compresión de la capa difusa que rodea a los coloides. Este proceso permite la formación de flóculos, que se desarrollan a través de un mecanismo que establece puentes entre las partículas, dando lugar a la creación de una estructura reticular porosa que varía según el tamaño efectivo de las partículas. Este proceso facilita significativamente la formación de macro flóculos, lo que es esencial para la eficiente eliminación de partículas coloidales en las aguas residuales (Gallardo Bravo, 2017).

Muchos coagulantes son ampliamente utilizados en los procesos de tratamiento de agua, estos coagulantes pueden clasificarse en coagulantes inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y coagulantes de origen natural (Gallardo Bravo, 2017).

8.5 Coagulantes/Floculantes naturales

Se evalúan como alternativas con un gran potencial en aplicaciones medioambientales ya que son biodegradables y su impacto mínimo en comparación con los coagulantes naturales inorgánicos y polímeros sintéticos como se señala en un estudio.

Según estudios (DS Bajwa, 2015) estas fuentes alternativas son en su mayoría de origen vegetal y contienen componentes coagulantes activos como carbohidratos, taninos y proteínas. Entre las especies vegetales que han sido objeto de estudio en este contexto, se destacan algunas que han demostrado ser especialmente efectivas en procesos de tratamiento de aguas como las semillas de maíz, Moringa, la planta Opuntia Ficus- Indica, las sustancias naturales representan

una alternativa viable para remplazar los productos químicos tradicionalmente empleados en el proceso de clarificación de aguas, esta opción se caracteriza por su capacidad de mitigar los posibles impactos negativos en la salud humana y minimizar las alteraciones ambientales asociadas con la clarificación de aguas. Además, esta alternativa se considera una estrategia prometedora del aprovechamiento de residuos, lo que contribuye a la sostenibilidad (Congreso nacional de investigación e innovación ambiental, 2019).

8.6 Mucilago de nopal *Opuntia ficus-indica*

El género *Opuntia* representa más de 200 especies y se ubican en regiones áridas y semiáridas, donde han desarrollado adaptaciones para la gestión eficiente de agua. Estas adaptaciones les permite almacenar y conservar agua en sus tejidos, lo que les confiere la capacidad de sobrevivir en condiciones de escasez hídrica y enfrentar las marcadas variaciones de temperatura características de estos entornos, hoy en día estas especies se distribuyen en una amplia gama de condiciones climáticas, tanto en estado silvestre como en cultivos, abarcando continentes como: americano, africano, asiático, europeo y oceánico.

Una característica distintiva de estas plantas es la presencia de tallos denominados cladodios son muy ricos en mucilago, un complejo de carbohidratos con una alta capacidad de absorción de agua. Además, se considera una fuente potencial de hidrocoloides con aplicaciones industriales. El contenido de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico en el mucilago varía en proporciones que dependen del manejo del cultivo, las condiciones de temperatura y humedad. En consecuencia, el contenido de mucílago de los cladodios oscila entre 3,78 y un 8,5% dependiendo de la especie del género *Opuntia* en consideración (Martínez Olivero & Mercado Verbel, 2013).

8.7 Sulfato de Aluminio H₂SO₄

Es un compuesto químico altamente corrosivo y uno de los ácidos más fuertes y ampliamente utilizados en la industria. El ácido sulfúrico se prepara industrialmente mediante la reacción del agua con trióxido de azufre que a su vez se elabora mediante combinación química de dióxido de azufre y oxígeno ya sea mediante el proceso de contacto o el proceso de cámara. Es un líquido denso y viscoso que es incoloro en su forma pura. El ácido sulfúrico tiene muchas aplicaciones en la industria como la síntesis de otros compuestos químicos, la acidificación de soluciones, la producción de fertilizantes y explosivos, y la fabricación de baterías (Britannica Academia, 2020).

8.8 Efectos secundarios de los coagulantes/floculantes

Requerimientos de dosificación, los coagulantes y floculantes naturales pueden requerir dosificaciones específicas dependiendo de la calidad del agua.

La presencia de sales disueltas en el agua ejerce una influencia significativa en los procesos de coagulación y floculación utilizados en el tratamiento de aguas. Estos efectos se manifiestan de diversas maneras:

- Ajustar las condiciones de PH para lograr una clarificación adecuada.
- Control preciso del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de los coagulantes requeridos (Pulido, 2020).
- Modificación en la cantidad final de coagulante presente en el efluente

Además, la variación de temperatura del agua puede tener un impacto importante en estos procesos. Las corrientes de densidad generadas por cambios en las temperaturas pueden afectar la energía cinética de las partículas en suspensión. Lo que a su vez influye en la velocidad de

coagulación. Las temperaturas altas pueden desfavorecer la coagulación, mientras que las temperaturas bajas pueden aumentar la viscosidad del agua. Estos efectos explican las dificultades en la formación de floculación y el proceso de coagulación en condiciones adversas (Pulido, 2020).

La turbiedad es una medida que cuantifica la concentración de partículas suspendidas en un líquido, esta medida se basa en la evaluación de la dispersión de las partículas a medida que la luz pasa a través del líquido, teniendo en cuenta factores como el número, tamaño y forma de las partículas en suspensión (Pulido, 2020).

Los tiempos de respuesta para el tratamiento de aguas residuales a partir de coagulantes naturales pueden requerir más tiempo para lograr la coagulación y floculación efectiva en comparación con productos químicos sintéticos.

Los costos y disponibilidad de los coagulantes naturales en ciertos lugares pueden ser más costosos y difíciles de obtener en comparación con productos químicos sintéticos convencionales.

8.9 Impacto de las aguas residuales en la salud

La presencia de organismos patógenos, provenientes en su mayoría del tracto intestinal, hace que estas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas, sobre todo al ser descargadas en la superficie de la tierra, subsuelo o en cuerpos de agua. Es el caso con la presencia de bacterias del grupo entérico que producen enfermedades de origen hídrico como: fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería, cólera, entre otras. Entre las principales enfermedades causadas por virus presentes en las aguas residuales están: poliomielitis, hepatitis infecciosa,

entre otras, y la presencia de microorganismos producen enfermedades como disentería amebiana, bilharziasis, entre otras.

- Malos olores: Consecuencia de las sustancias extrañas que contiene y los compuestos provenientes de estas materias, con el desdoblamiento anaeróbico de sus complejos orgánicos que generan gases resultados de la descomposición.
- Acción tóxica: Que muchos de los compuestos minerales y orgánicos que contienen esas aguas residuales provoca sobre la flora y la fauna natural de los cuerpos receptores y sobre los consumidores que utilizan estas aguas.
- Potencialidad infectiva: Contenida en las aguas receptoras y que permite transmitir enfermedades y se convierten en peligro para las comunidades expuestas. El riego de plantas alimenticias con estas aguas ha motivado epidemias de amebiasis, y su vertido al mar contaminación en criaderos de ostras y de peces.
- Modificación de la apariencia física: La modificación estética en áreas recreativas donde se descargan efluentes contaminados.
- Polución térmica: Generada por ciertos residuos líquidos industriales que poseen altas temperaturas.

La materia orgánica presente en las aguas residuales está sometida a cambios por acción química y bacterias para llegar a su oxidación y reducción de la materia orgánica en un porcentaje del 25 al 50% en pocas horas; el resto requiere de días o semana. Las aguas residuales normalmente en su origen, cuando están frescas, no presentan olores desagradables a temperaturas entre 20 y 25 grados centígrados. La descomposición inicia al cabo de dos horas, cuando comienzan a enturbiarse y a cambian de color, transformándose en aguas color marrón y al cabo de 6 a 8 horas se produce el desprendimiento de gases, luego tomarán color más oscuro,

con producción de malos olores, y se convierten en aguas ácidas, se produce la estabilización y se convierten nuevamente en aguas sin olor, color ni sabor, obteniéndose materia estable como dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrógeno (NO₃), y sulfatos (SO₄).

8.10 Recomendaciones de las aguas residuales

- Realizar capacitaciones en las diferentes áreas del país (Colombia) para contribuir a la descontaminación de aguas alteradas por la industria, aguas negras y domésticas.
- Mantener los sistemas tratamientos y filtración en buen estado así mismo realizar monitoreos de calidad para asegurar que el agua se encuentre dentro de los estándares aceptables
- Realiza un plan de gestión integral educativo para contribuir a la protección del ambiente en diferentes zonas de nuestro país utilizando los procesos de coagulación y floculación a base de plantas
- Se recomienda realizar procesos de desinsectación al agua tratada ya que puede quedar con sólidos o patógenos (Claros, 2014).
- Es más fácil coagular aguas de turbiedad baja (desagües domésticos industriales) requieren una cantidad mayor de coagulante.
- Cada turbiedad tiene una dosis de coagulante, con el que se logra turbiedad residual baja (dosis óptima).
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula.
- Poca cantidad del coagulante no neutraliza totalmente la carga de la partícula.
- Utilizar las aguas tratadas principalmente para actividades de uso doméstico exterior como riega jardines y cespedes y evitar uso en aplicaciones que requiera aguas potables como beber o cocinar.

9. Antecedentes en los coagulantes naturales (Opuntia ficus-indica(investigaciones))

El análisis se centra en las diversas aplicaciones de los coagulantes naturales expuestos en este proyecto como la a planta científicamente denominada Opuntia ficus-indica, proveniente de la familia Cactácea. En otras partes del mundo también es conocida tunera, nopal, pita, penca, higuera de chumbo, higuera de pala, o chumbera. Esta planta es originaria de México.

Existen muchos países en los que se ha despertado últimamente interés por esta planta, debido a sus grandes potencialidades como alimento, tanto humano como animal, y sus posibles modos de industrialización. Además, de su adaptabilidad a las zonas áridas en contraste con los cultivos tradicionales. Entre ellos figuran Brasil, Cuba, Egipto, España, India, Israel, Turquía y Venezuela. El autor F. Basile, menciona además a Argelia, Colombia, Grecia y Jordania como países en los que, aunque en baja proporción, también se cultiva esta especie (Martínez Olivero & Mercado Verbel, 2013).

Existen en Opuntia ficus-indica valiosos y atractivos compuestos funcionales que pueden ser extraídos y utilizados para formular y enriquecer nuevos alimentos, para formar parte de la cada vez más cotizada gama de aditivos naturales (gomas y colorantes) tanto para la industria alimentaria como farmacéutica y cosmética, para formular suplementos alimenticios, ricos en fibra o con fines de control de la diabetes o la obesidad, entre otros (Martínez Olivero & Mercado Verbel, 2013).

9.1 Extracción y Caracterización de los Coagulantes

Este estudio tiene como objetivo optimizar la extracción del mucilago de la planta Opuntia ficus-indica. La Opuntia ficus-indica, comúnmente conocida como nopal, es una planta que produce mucilago en sus hojas y tallos. El mucilago de nopal es un hidrato de carbono complejo, con una gran capacidad para absorber agua, producido por plantas de la familia de las

Cactaceae entre ellas la tuna (*Opuntia ficus-indica*). Algunos investigadores mencionan su potencial industrial, ya que podría emplearse como hidrocoloide en la industria de alimentos (NAUTO, 2017) es una sustancia gelatinosa y viscosa, es un polisacárido que contiene 10% de ácido uránico. arabinosa, galactosa y ramnosa y aun que no existe una técnica estandarizada para extraer el mucilago debido a que el método cambia según la fuente (cladoddio o fruta) y de la parte específica de la planta como la piel, pulpa o semilla, a continuación, se presentan algunas formas de cómo es posible extraerlo (López, 2019).

➤ Corte y extracción manual:

- Cortar las hojas o tallos y remover las espinas y la piel exterior
- Raspar cuidadosamente la superficie de las hojas o tallos para eliminar las espinas y la piel exterior
- Extraer el mucilago manualmente, generalmente mediante presión o estrujado de las partes internas de la planta.

➤ Extracción con agua:

- Cortar las hojas o tallos y remover las espinas y la piel exterior.
- Colocar las partes internas en un recipiente con agua y dejarlas en remojo durante un tiempo.
- El mucilago se liberará en el agua y luego separarlo del agua filtrando o decantando.

➤ Máquinas de extracción:

- En entornos industriales, se utilizan máquinas de extracción de mucilago que aplican presión o colar para liberar mucilago de las hojas y los tallos.

Es importante tener en cuenta que el mucilago de nopal es sensible al calor, por lo anterior se debe evitar exposición a temperaturas muy altas durante el proceso de extracción para conservar sus propiedades beneficiosas.

10. Metodología para el desarrollo de tratamiento de aguas residuales pluviales a partir de Coagulantes naturales para uso domestico

Esta metodología establece un procedimiento sistemático que delineara las fases esenciales para la creación de un tratamiento de aguas residuales a partir de coagulantes naturales para uso doméstico, incluyendo la etapa de selección de las plantas naturales como materia prima y la caracterización del producto. La validación de esta metodología se llevará a cabo mediante la realización de pruebas y experimentos en un entorno de laboratorio químico.

10.1 Plan de generación experimental de tratamiento de aguas

Siguiendo las directrices de la metodología destinada al desarrollo de tratamiento de aguas residuales a partir de coagulantes naturales para uso doméstico, se establecen los procedimientos para la adquisición y evaluación de los resultados en concordancia con el plan de generación experimental del coagulante natural de la planta Opuntia Ficus-Indica.

10.2 Realización experimental del Coagulante a base de la planta Opuntia Ficus-Indica.

Se desarrollo la practica experimental descrita a continuación

➤ Selección de la planta:

La selección de la Opuntia ficus-indica se realizó en la plaza de mercado 7 de agosto ubicada en el norte la ciudad de Bogotá, Colombia.

Figura 1.

Plaza de Mercado 7 de agosto



Nota. Fuente Propia.

Figura 2.



Nota. Fuente Propia.

➤ **Pelado de la planta y extracción del mucilago**

- Descopar la planta o penca con el elemento cortopunzante (cuchillo) dejando solo el material viscoso de su interior.
- Picar el material en pequeños cubos para llevar a licuadora (Licuar durante 5 minutos o hasta que la muestra tome consistencia líquida total).

- Llevar el residuo a los tubos de centrifugación (los tubos deben de tener el mismo peso material para garantizar una centrifugación adecuada).
- Generar centrifugación por 20 minutos.
- Llevar a la nevara y mantener a -4°C por dos días.

➤ **Determinación del pH óptimo para coagulación**

- Coloque 500 mL de muestra en cada uno de las Baker del equipo de prueba de jarras.
- Agregue a cada una de las cubas H_2SO_4 o NaOH 1M en alícuotas de 1 mL para ajustar su pH, en incrementos de una unidad, en el intervalo 4 a 9. Los Baker deberán tener pH 4,6,9 y tres estándares de 7.

➤ **Agregación de coagulante/floculante (H_2SO_4)**

- Agregue a cada una de las cubas coagulante hasta alcanzar la concentración preliminar estimada.

Para el sulfato de aluminio se adiciona así:

- ✓ 4 concentraciones de 28 mL
- ✓ 1 concentración de 50 mL
- ✓ 1 concertación de 4.5 mL

Para el coagulante natural se adiciona así:

- ✓ 4 concentraciones 0.6 gramos
 - ✓ 1 concentración de 0.5 gramos
 - ✓ 1 concentración de 0.7 gramos
- Aplique mezcla rápida a todas los Baker durante tres minutos en velocidad de 150 rpm
 - Para la floculación aplique mezcla lenta a todas las cubas durante 20 minutos en 25 rpm de velocidad.

➤ **Determinación de pH y turbidez final**

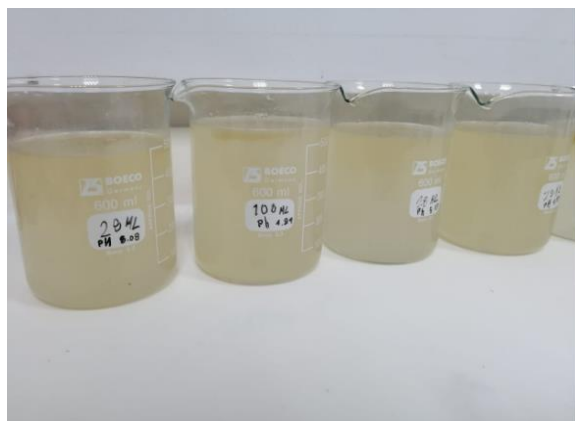
- Determine al sobrenadante de cada cuba sólidos suspendidos totales, turbidez y pH.
- Tomar muestra del sobrenadante usando una jeringa de 3 cm por debajo de la superficie del agua con el fin de determinar los parámetros de calidad del agua tales como la turbidez.
- Tome pH-metro y sumérjalo en cada uno de los Baker para determinar el cambio que este ha tenido.

➤ **Fotografías experimentales H₂SO₄**

- Fotografías del proceso con coagulante de sulfato de aluminio

Figura 3.

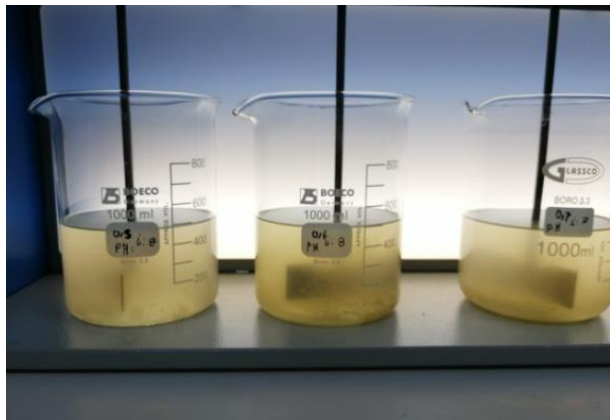
Aplicación en Baker de Coagulante



Nota. Se establece el contenido apropiado para cada recipiente con variaciones de pH y la variación en concentración del coagulante.

Figura 4.

Test de jarras para coagulación – sulfato de aluminio



Nota. Se aplica test de jarras para las muestras iniciales con las velocidades establecidas en procedimiento.

Figura 5.

Medición de pH y turbidez



Nota. Luego de establecer los tiempos necesarios para la floculación de la muestra se establecen parámetros de medición del agua obtenida tras test de jarras.

➤ **Fotografías del proceso con coagulante natural**

Figura 6.

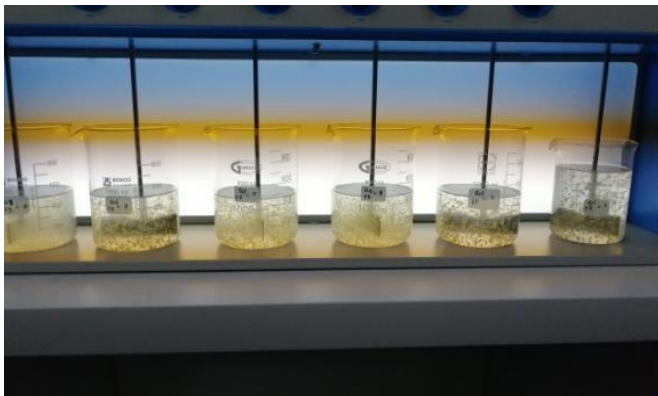
Elaboración de coagulante natural



Nota. Se crean muestras del extracto de planta los cuales son refrigerados para mantener su eficiencia como coagulante.

Figura 7.

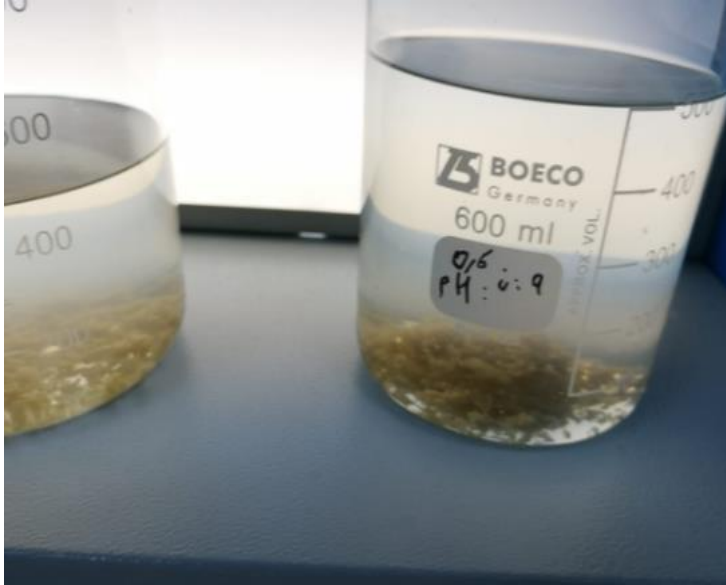
Test de jarras coagulante natural



Nota. Se da test de jarras para las muestras de agua de igual fuente a las tomadas en la primera muestra.

Figura 8.

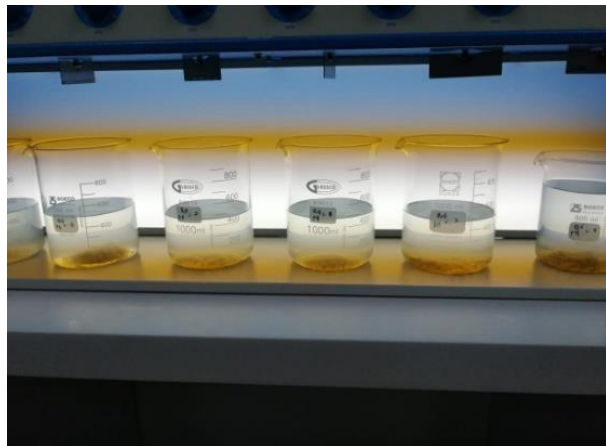
Floculación para test de jaras – coagulante natural



Nota. Se muestra los flóculos generados tras la experimentación y la sedimentación estos tras el proceso de laboratorio mencionado.

Figura 9.

Toma de datos para el agua tratada



Nota. Se generan muestreo de datos para el agua obtenida de pH y turbidez.

➤ **Resultados**

- Coagulante con sulfato de aluminio (H_2SO_4)

11. Análisis de resultados

11.1 Sulfato de Aluminio (H_2SO_4) / planta *Opuntia ficus-indica*

Con el fin de establecer la comparación de los resultados obtenidos se agrega esta información respecto a las cualidades que debe tener el agua según la normatividad Resolución 2115 de 2007 que establece los estándares mínimos para el agua potable y a partir de esto analizar y determinar si el resultado es viable para que el agua sea de uso doméstico.

Tabla 1

Estándar de calidad para el agua en Colombia

PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	MUESTRA	NORMA COLOMBIANA	
				VALOR PERMITIDO	VALOR PROPUESTO
Color aparente cobalto	UPC			15	
pH	UND			6,5 a 9.0	
Conductividad	Micro siemens			1000	
Olor y sabor				Acceptable o No acceptable	
Turbiedad	UNT			2	
Antimonio	Sb	mg / L		0,02	
arsénico	As	mg / L		0,01	
Bario	Ba	mg / L		0,7	
Cadmio	Cd	mg / L		0,003	
Cianuro libre y disociable	Cn	mg / L		0,005	
Cobre	Cu	mg / L		1.0	
Cromo Total	Cr	mg / L		0,05	
Mercurio	Hg	mg / L		0,001	
níquel	Ni	mg / L		0,02	
Plomo	Pb	mg / L		0,01	
Selenio	Se	mg / L		0,01	
Trihalometanos totales	THMs	mg / L		0,2	
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	HAP	mg / L		0,01	
Carbón orgánico	COT	mg / L		5.0	
Nitritos	NO2	mg / L		0,1	
Nitratos	NO3	mg / L		10	
Fluoruros	F	mg / L		1.0	
Calcio	Ca	mg / L		60	
Alcalinidad total	CaCO3	mg / L		200	

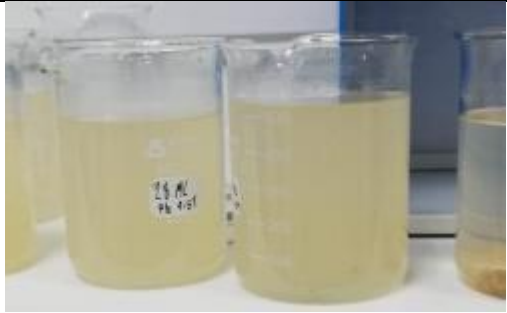

Cloruros	Cl-	mg / L	250
Aluminio	Al ³⁺	mg / L	0,2
Dureza total	CaCO ₃	mg / L	300
Hierro Total	Fe	mg / L	0,3
Magnesio	Mg	mg / L	36
Manganeso	Mn	mg / L	0,1
Molibdeno	Mo	mg / L	0,07
Sulfatos	SO ₄ ⁻⁻	mg / L	250
Zinc	Zn	mg / L	3
Fosfatos	PO ₄ ⁻⁻⁻	mg / L	0,5
Coliformes totales	0 UFC / 100 cm ³	depende de su frecuencia y numero de muestras	
Escherichia coli	0 UFC / 100 cm³	depende de su frecuencia y numero de muestras	

Fuente: Juan Felipe Ávila – 2016

Respecto a la disposición de los resultados estandarizado para Colombia se puede establecer el siguiente comparativo y el análisis de su resultado.

Tabla 2

Comparación de muestras

<p>Muestra con coagulante de sulfato de aluminio</p>	<p>Muestra con coagulante natural planta <i>Opuntia ficus-indica</i></p>
	

El analisis de dichos resultados se muestra la efectividad del coagulante natural, pero que por error y descuido humano a generado materia orgánica como hongos, pero mediante una remoción efectiva y temprana de los elementos decantados se garantiza una menor turbidez y un uso mucho más apto.

También se determina que según el comparativo con la norma ambiental vigente para aguas resolución 1207 de 2014 ninguna de las dos muestras supera índices de turbidez para el consumo humano, pese a esto el agua del coagulante natural presenta una clara diferencia en niveles de turbidez, según los resultados aportados en la tabla No. 1 y 5.

Dicha agua podrá ser usada, filtrando sus sedimentos para usos de lavado comunes los cuales no presentan una normatividad tan exigente. Bajo un seguimiento exhaustivo y como mayores controles dicha agua podrá potabilizarse de forma más amigable con el medio ambiente,

con mayores aportes a la salud y se podrá tatar aguas vertidas contenidas en plantas de tratamiento con el sustrato de *Opuntia ficus- indica* (Unidas, 2014).

Por lo registrado por parte del grupo de experimentación también se arroja que la coagulación ideal se obtiene para niveles de pH no inferiores a 4 y no superiores 6, aunque funciona para los pH variados estos presentan una mayor tendencia a un resultado óptimo. Dicho resultado desde el punto de vista químico – físico se da así.

12. Análisis de costos

12.1 Costos Directos

COSTOS DIRECTOS

MATERIA	CARACTERISTICA	UNIDAD	Precio por Unidad (\$)	VALOR TOTAL
Mano de Obra	Auxiliar de LAB		\$ 850.000	\$ -
Planta Opuntia	Kg	5	\$ 2.600	\$ 13.000
Etiquetas	Físico	12	\$ 250	\$ 3.000
Frascos	Físico	12	\$ 1.150	\$ 13.800
Acido Sulfúrico		1	\$ 52.600	\$ 52.600
Sulfato de Aluminio		1	\$ 20.000	\$ 20.000
			\$ -	\$ -
			\$ -	\$ -
	Total			\$ 102.400
	Unidades producidas			12
	Costo unidad			\$ 8.533,33
	Utilidad + recuperación inversión			30%
	Valor unitario de venta			\$ 11.093

12.2 Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS				
MATERIALES	CARACTERISTICA	UNIDAD	Precio por Unidad	VALOR TOTAL
			(\$)	
Gradilla Tubos de Centrifugación	Plástico	1	\$ 5.500	\$ 5.500
Tubos para Centrifugar	Plástico	6	\$ 2.200	\$ 13.200
Jeringa	Plástico	12	\$ 2.000	\$ 24.000
Vidrio de Reloj	Vidrio	1	\$ 14.000	\$ 14.000
Pipeteador	Vidrio	1	\$ 25.000	\$ 25.000
Puntas para Pipeteador	Plástico	1	\$ 14.000	\$ 14.000
Cuchillo	Metálico	2	\$ 5.000	\$ 10.000
Balanza Digital	Metálico	1	\$ 129.800	\$ 129.800
Licuadaora	Plástico	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Baker (500 ml)	Vidrio	12	\$ 6.000	\$ 72.000
Termómetro	Vidrio	1	\$ 12.500	\$ 12.500
PH-metro	Plástico	1	\$	\$ 1.490.000
			1.490.000	
Refrigerador	Metálico	1	\$ 556.200	\$ 556.200
Turbidímetro	Plástico	1	\$ 984.400	\$ 984.400
TOTAL				\$ 3.400.600

12.3 Costos Fijos

COSTOS FIJOS		
CARACTERISTICAS	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL

Arriendo Local (Laboratorio)	Laboratorio de 85 m ² , ubicado en Chapinero	\$		\$	
			2.000.000		24.000.000
Servicios Públicos		\$		850.000	\$
					10.200.000
Nómina		\$			\$
			15.000.000		180.000.000
Depreciación	De los equipos que se van a usar.	\$		285.454	\$
					3.425.449
		\$		-	\$
		\$		-	\$
TOTAL		\$		\$	
			18.135.454		217.625.449

12.4 Depreciación de Equipos

MUEBLES Y EQUIPOS (DEPRECIACIÓN)
Valor (\$)

Muebles y Equipos		Vida útil (años)	Depreciación (anual)	Depreciación (mensual)
Floculador	\$ 8.000.000	10	\$ 800.000	\$ 66.667
PH-metro	\$ 1.490.000	8	\$ 186.250	\$ 15.521
Turbidímetro	\$ 984.400	7	\$ 140.629	\$ 11.719
Balanza Digital	\$ 129.800	5	\$ 25.960	\$ 2.163
Refrigerador Laboratorio	\$ 22.726.100	10	\$ 2.272.610	\$ 189.384
TOTAL			\$ 3.425.449	\$ 285.454

12.5 Gastos Generales

GASTOS GENERALES		
Transporte	\$	-

Mantenimiento	\$	450.000
Depreciación	\$	285.454
Nómina	\$	15.000.000
Papelería	\$	500.000
Aseo	\$	1.500.000
TOTAL	\$	17.735.454

12.6 Capital

COSTOS DEL PRODUCTO	\$	39.373.908
IVA	19%	\$ 7.481.043
RETENCION DE LA FUENTE	14%	\$ 5.512.347
TOTAL		\$ 52.367.298
CAPITAL DEL PROYECTO	\$	65.000.000

13. Conclusiones

- La evaluación del coagulante natural ha demostrado ser efectiva en la remoción de turbiedad del agua de lluvia en la universidad EAN, lo que surge una alternativa viable y más sostenible para el tratamiento de aguas pluviales.
- El uso del coagulante como floculante ha demostrado su eficacia en la eliminación de partículas suspendidas en el proceso de tratamiento de aguas para uso doméstico lo que podría tener implicaciones positivas para mejorar la calidad del agua hasta llevarla a consumo humano.
- La determinación de la dosificación óptima de floculantes naturales para eliminar las partículas suspendidas es un paso crucial para optimizar el proceso de tratamiento de aguas y garantizar la eficiencia en la remoción de impurezas.
- La exploración de alternativas de coagulación con el objetivo de prevenir enfermedades por el uso de sulfato de aluminio es un paso importante hacia la promoción de prácticas sostenibles en el tratamiento de aguas.
- Los ensayos de test de jarras han confirmado la eficiencia de los coagulantes naturales, lo que respalda la viabilidad de su uso en el tratamiento de aguas pluviales y potencialmente en otras aplicaciones de tratamiento de aguas.

14. Recomendaciones

- Realizar monitoreo continuo para evaluar la eficiencia de los coagulantes a largo plazo en el tratamiento de aguas.
- Realizar investigaciones constantes para identificar y caracterizar los coagulantes naturales más efectivos y sostenibles que surgen de la evolución, esto podría llevar a mejorar la eficiencia del proceso del tratamiento.
- Promocionar capacitaciones con la comunidad sobre los beneficios de utilizar coagulantes naturales en prácticas sostenibles.

Referencias

- Barreto Pardo, J. S. (2019). Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 105-116.
- Britannica Academia. (2020, mayo 18). Acido Sulfurico. Acido Sulfurico, p. 2.
- Carmen. (2021). Cómo es el tratamiento de las aguas residuales en Colombia?: En el país, de 1102 municipios, 699 llevan a cabo algún tipo de manejo de aguas servidas, proceso que debe realizarse por recurso humano certificado y los 365 días del año. Bogotá: Grupo de Diarios América.
- Casas, M. N. (2017). Extracción del mucílago de la penca de tuna. Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002, septiembre 25). Gestion Integral de Aguas Residuales. From Gestion Integral de Aguas Residuales: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1698025190&Signature=YmS8IDp~p9aGzSKID11mqXfMmH
- Claros, J. N. (2014). Cougales-floculantes organicos e inorganicos. San pedro Sula-Honduras: Universidad Pedagogica Nacional Francisco Morazan.
- Congreso nacional de investigacion e innovacion ambiental. (2019). Memorias. Bogota: CAR.
- Cruz, A. M. (2008, junio). Caracterizacion y tratamiento de aguas residuales. From Caracterizacion y tratamiento de aguas residuales: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/?sequence=1>
- de Matos, M. P., de Matos, A. T., da Silva, E. F., & Eustáquio, V. J. (2014). EFEITO DA MASSA E DA FORMA DE PROCESSAMENTO DAS SEMENTES NO PODER COAGULANTE DA MORINGA/EFFECT OF THE MASS AND FORM OF SEED PROCESSING ON THE COAGULANT POWER OF MORINGA. Brazil, Vicosa: *Revista Engenharia na Agricultura*.
- DS Bajwa, P. D. (2015). Industrial Crops and Products. In elsevier, *Industrial Crops and Products* (pp. 1-1178). scienceDirect.
- Gallardo Bravo, M. A. (2017). COAGULANTES Y FLOCULANTES NATURALES USADOS EN LA REDUCCIÓN . Bogotá: FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN.
- Japon Quintero, J. (1985). Cultivo extensivo de la remolacha de mesa. In J. Japon Quintero, *Hojas divulgadoras* (pp. 18-84). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. From Mapa.gob: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1984_18.pdf

- Lara Atiaja, J. E., & Vega Moposita, G. M. (2020). EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LAS NUEVAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA APLICACIÓN DE MUCÍLAGOS EN LA AGROINDUSTRIA. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 1-141.
- López, J. S. (2019). Extracción de mucílago de *Opuntia ficus-indica*, Nopal. BIOMA N° 52,.
- Martínez Olivero, R. E., & Mercado Verbel, I. D. (2013). Producción Más Limpia. Medellín: Corporación Universitaria Lasallista.
- Mera Alegria, C. F. (2016). Efecto de la moringa oleífera en el tratamiento de aguas residuales en el Cauca, Colombia. Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial, 100-109.
- Ministerio de Ambiente. (2022). Aguas Residuales. Bogotá: Colombia potencia de vida.
- NAUTO, N. G. (2017). OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN ACUOSA Y SECADO DEL. SANTIAGO - CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Pulido, L. M. (2020). Evaluación de la Remoción de la Turbidez del Agua del Río Fucha por Medio. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Rafael Enrique Olivero Verbel, Y. d. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante. AVANCES Investigación en Ingeniería Vol. 11 - No. 1 (2014) ISSN: 1794-4953.
- Unidas, N. (2014, noviembre 24). decenio internacional para la acción, el agua fuente de vida 2005-2015. departamento de asuntos económicos y sociales de las Naciones Unidas, p. <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>.