

ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO SOBRE EXTRACTOS DERIVADOS DE ESPECIES
NATURALES UTILIZADOS COMO COAGULANTES Y FLOCULANTES Y SUS
APLICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PRESENTADO POR

MICHAEL ANDRES PIRAQUIVE GAMBA

ANGIE CAROLINA PARROQUIANO ANGARITA

DIRECTOR INTERNO

JAIME EDDY USSA GARZÓN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.

2021

ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO SOBRE EXTRACTOS DERIVADOS DE ESPECIES
NATURALES UTILIZADOS COMO COAGULANTES Y FLOCULANTES Y SUS
APLICACIONES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PRESENTADO POR

MICHAEL ANDRES PIRAQUIVE GAMBA

ANGIE CAROLINA PARROQUIANO ANGARITA

Informe final del trabajo de grado en modalidad de monografía para optar por el título de
Ingeniería Ambiental

DIRECTOR INTERNO

JAIME EDDY USSA GARZÓN

Ingeniero Forestal

Especialización en Estudios en Ambiente y desarrollo local

Maestría en Desarrollo Rural

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ, D.C.

2021

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirnos culminar nuestras metas aún antes las más inesperadas adversidades, a nuestros padres por su esfuerzo y dedicación para formarnos con valores y principios que nos inspiran a ser mejor e ir por más cada día, a todos nuestros seres amados quienes nos brindaron su apoyo y creyeron siempre en nosotros, un agradecimiento especial a nuestra amiga Flor Astrid Gil por toda su colaboración y finalmente gracias a nuestro director Jaime Eddy Ussa Garzón por su acompañamiento y guía.

“Los pesimistas ven dificultades en cada oportunidad. Los optimistas ven oportunidades en cada dificultad” Winston Churchill.

CONTENIDO

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
4.	JUSTIFICACIÓN	4
5.	OBJETIVOS	6
	5.1. Objetivo general	6
	5.2. Objetivos específicos	6
6.	MARCO DE REFERENCIA	7
	6.1. Marco teórico	7
	6.1.1. Desarrollo sostenible y recurso hídrico	7
	6.1.2. Contaminación del recurso hídrico	8
	6.1.3. Tratamiento de aguas residuales	9
	6.2. Marco normativo	18
7.	METODOLOGÍA	20
	7.1. Selección de especies	21
	7.2. Revisión preliminar	21
	7.3. Revisión y gestión de la información bibliográfica	22
	7.4. Diseño del método de evaluación	23
	7.5. Análisis de los resultados	23
8.	RESULTADOS	24
	8.1. Selección de especies	24
	8.2. Revisión preliminar	25
	8.3. Revisión y gestión de la información bibliográfica	26

8.4. Diseño del método de evaluación	28
9. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
10. CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.....	9
Tabla 2. Técnicas/procesos unitarios utilizados en el tratamiento de aguas residuales.....	12
Tabla 3. Principales coagulantes-floculantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales.....	14
Tabla 4. Descripción de familias con mayos cantidad de especies encontradas con estudios como coagulantes y floculantes.....	16
Tabla 5. Normativa a consideración del trabajo investigativo.....	19
Tabla 6. Ecuaciones de búsqueda para la compilación de información	25
Tabla 7. Resultados de búsqueda por familias, especies y otros grupos de interés.....	26
Tabla 8. Resumen de la matriz binaria.....	29
Tabla 9. Método de evaluación parámetros técnico-cualitativos.....	30
Tabla 10. Método de evaluación parámetros técnico cuantitativos.....	31
Tabla 11. Método de evaluación parámetros técnico ambientales – Forma de aplicación.....	32
Tabla 12. Método de evaluación parámetros socio ambientales – Aplicación	32
Tabla 13. Método de evaluación parámetros socio económicos- Obtención	33
Tabla 14. Método de evaluación parámetros económicos	33

Tabla 15. Especies y familias seleccionadas para la revisión preliminar	34
Tabla 16. Matriz de potencial según criterio técnico-cualitativo para el tratamiento de aguas...	39
Tabla 17. Subtotales por especie de la Dimensión Técnico-Cualitativa	40
Tabla 18. Comparativa Subtotales Técnico-Cualitativo y Técnico-Ambiental	41
Tabla 19. Resultados por dimensiones y total del método de evaluación para la selección de especies con mayor potencial como coagulantes/floculantes en el tratamiento de aguas.....	43
Tabla 20. Clasificación de resultados totales del método de evaluación.....	44

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: Proceso de coagulación - floculación, mediado a través de la adición de un agente desestabilizante de partículas coloidales.....	13
Ilustración 2. Metodología para la selección y evaluación de especies con mayor potencial como coagulantes/floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales.	21
Ilustración 3. Metodología para la determinación de criterios y dimensiones de interés de sustentabilidad en el tratamiento de aguas.....	22

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de compilación de la información
Anexo 2. Matriz binaria
Anexo 3. Matriz de evaluación del paquete tecnológico
Anexo 4. Enlaces de archivos

1. RESUMEN

El objetivo 6 para el desarrollo Sostenible adoptados en 2015 por la ONU plantea garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, teniendo en cuenta que más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación. A partir de ello, el tratamiento de aguas residuales toma gran importancia, dentro del cual la coagulación-floculación es uno de los procesos esenciales principalmente para la remoción de materiales en suspensión. El objetivo de esta monografía fue recopilar información sobre los extractos derivados de especies naturales utilizados como coagulantes-floculantes; para ello se recolectó y caracterizó recursos bibliográficos de distintas especies naturales a fin de diseñar un método de evaluación que permitió determinar la factibilidad técnica para la aplicación de estas especies en el tratamiento de aguas. A partir de lo anterior, se pudo determinar que las especies/polímeros que presentan una mayor factibilidad para su implementación como coagulantes/floculantes naturales en el tratamiento de aguas son: *Moringa oleifera*, *Guazuma ulmifolia*, *Quitosano*, *Strychnos Potatorum* y *Musa paradisiaca*.

Palabras clave:

Coagulación-Floculación, Tratamiento de aguas residuales, Parámetros fisicoquímicos, Desarrollo Sostenible, Contaminación ambiental, Matriz de evaluación.

2. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como el compuesto esencial para la vida, el cual tiene una importancia para el desarrollo económico, sanitario y social de las poblaciones, así como para el mantenimiento de la resiliencia medioambiental de los ecosistemas. Sin embargo, la descarga de efluentes de gran variedad de actividades de origen antropogénico ha tenido como resultado la contaminación de ríos, lagos y otros cuerpos de agua (ONU, 2015). Una de estas actividades es el sector productivo de las curtiembres, el cual en su proceso hace un consumo elevado del recurso hídrico los cuales son descargados a cuerpos de agua sin tratamiento previo y con una alta carga contaminante (SDA & Alcaldía de Bogotá, 2012).

Una de las técnicas más utilizadas para el tratamiento primario de aguas residuales es la coagulación-floculación, la cual influye principalmente en la eliminación de sólidos disueltos y suspendidos, así como en otros parámetros como la turbidez, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, entre otros. Tradicionalmente, se han utilizado coagulantes como el sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y cloruro de hierro ($FeCl_3$), pero se ha demostrado que el uso de estos compuestos trae efectos en el medio ambiente debido a su baja biodegradabilidad y a los efectos en la salud humana (Mallevalle, Bruchet, & Fiessinger, 1984). Los coagulantes y floculantes pueden ser de origen químico como los metálicos o naturales aprovechando propiedades de las especies vegetales (UCLM, 2006). En Colombia existe un estimado de 26.186 especies de plantas según el Catálogo Nacional de Plantas (2015)

Por lo anteriormente mencionado en este documento se busca realizar una recopilación bibliográfica acerca de los extractos derivados de especies naturales de origen animal y vegetal que tiene algún tipo de potencial como coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de aguas residuales, de esta manera identificar por medio de un análisis crítico cuales de las especies representan una mayor factibilidad en su aplicación y funcionamiento.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se estima que al menos una de cada cuatro personas se verá afectada por este problema para el año 2050; esta cifra se debe en mayor medida a la contaminación de los cuerpos hídricos, considerando que el 80% de las aguas residuales a nivel mundial se vierten en vías fluviales sin un tratamiento adecuado, lo que se refleja en la pérdida del 70% de las zonas húmedas naturales a nivel mundial en el último siglo (ONU, 2015). En consecuencia, la organización de las Naciones Unidas contempla, dentro de los objetivos de desarrollo sostenible, el “agua limpia y saneamiento” como uno de los temas de mayor importancia a nivel mundial por lo que se han planteado metas que buscan para el año 2030 “mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar” y “ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización”, entre otras (ONU, 2015).

Ahora bien, el mundo ha venido observando una serie de problemas relacionados con la disposición de los residuos líquidos procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial. Las masas receptoras, es decir, ríos y corrientes subterráneas, lagos, estuarios y el mar, en la mayoría de las ocasiones, especialmente en las zonas más densamente pobladas y desarrolladas, han sido incapaces, por sí mismas, de absorber y neutralizar la carga contaminante que tales residuos producen. De esta forma, han venido perdiendo sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responde al equilibrio ecológico. Como consecuencia de esto, en numerosas ocasiones pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o aún como fuentes de energía (Espigares & Pérez, 2009).

Una de las técnicas más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales son la coagulación y floculación, debido a que permiten la neutralización y agregación de partículas que generan alteraciones en las propiedades fisicoquímicas del agua. Estos procesos se realizan generalmente con coagulantes químicos, los cuales son añadidos a las aguas residuales con el fin de desestabilizar partículas coloidales para el desarrollo de la agregación de partículas formando grandes flóculos (Šćiban, Klačnja, Antov, & Škrbić, 2009). Un estudio sobre coagulantes químicos (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 1999) determinó que el uso de los mismos genera afectaciones en el medio ambiente debido a su baja biodegradabilidad y a la afectación del pH del agua tratada, por lo cual especies naturales de origen vegetal y animal comprenden ventajas significativas (como se cita en Lun y Mohammad,

2020) en primer lugar en un país como Colombia que se caracteriza por su abundante biodiversidad tanto en fauna como en flora, se facilita la obtención de las especies y material necesario para el desarrollo de los coagulantes y floculantes naturales, en segundo lugar estos productos al carecer de sustancias inorgánicas representan una gran facilidad en cuanto a su biodegradabilidad, una disminución en el riesgo por toxicidad y facilidad el manejo de los lodos que se generan y acumulan durante el proceso (Saleem y Bachmann, 2019a).

Según un artículo publicado en el Journal of Cleaner Production 2020, por el Centro de Tecnología de Procesos Sostenibles (CESPRO) y la Facultad de Ingeniería y Entorno Construido, Universiti Kebangsaan Malasia, “se han encontrado pocos desafíos críticos al pasar de la escala de estudio de los coagulantes naturales a la escala de laboratorio y de escala de laboratorio a su aplicación, el principal obstáculo es la falta de confianza industrial para adoptar coagulantes naturales en los procesos de tratamiento”. Aun cuando existen gran variedad de estudios que comprueban su rendimiento y numerosos beneficios, la industrias aun temen por temas como la rentabilidad del producto y su coherencia con los procesos de tratamiento reales (Ang & Mohammad, 2020).

El crecimiento poblacional y de producción conllevan una demanda creciente de agua y su respectiva contaminación (Congreso Nacional del Agua Orihuela, 2019). Entendiendo lo anterior y teniendo en cuenta que dentro de la constitución de nuestro país está contemplado el desarrollo sostenible y que según las Naciones Unidas Colombia es uno de los países que se ha comprometido con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio que también contempla el desarrollo sostenible, se entiende la necesidad de buscar alternativas a los procesos primarios de tratamientos de aguas residuales como lo son la floculación y coagulación y de esta manera contribuir en la búsqueda por satisfacer la demanda en el tratamiento de aguas residuales. A partir de ello surgen las tecnologías apropiadas las cuales se plantean en base a las necesidades más urgentes, a los recursos disponibles y al estado de avance de su conocimiento con el fin de obtener soluciones más eficientes y prácticos para los problemas socioambientales como la contaminación del recurso hídrico.

4. JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país que tiene una oferta hídrica calculada en $58L/s/Km^2$ y tiene áreas extensas de humedales (2.680.000 ha), pero a su vez presenta un deterioro del recurso que aumenta conforme crece la población dentro de la nación en una relación de 3 a 1, esto sin mencionar que existen amplias zonas del territorio nacional que ya presentan escasez de agua principalmente la región del Caribe (IDEAM, 2018). La Contraloría General de la República estableció problemas ambientales que contribuyen con el deterioro del recurso hídrico como lo son la alta presencia de sedimentos por deforestación y deterioro de los suelos, alta contaminación originada por aguas residuales domésticas, industriales y el uso de plaguicidas, además de la disposición inadecuada de residuos (IDEAM, 2018).

Un aumento en la demanda del recurso inevitablemente significa un incremento en las medidas de tratamiento que son requeridas, tomando como fundamento el estudio sobre coagulantes químicos de la Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, en el cual se determinó que el uso de coagulantes-floculantes de origen químico generan afectaciones en el medio ambiente debido a su baja biodegradabilidad y a la afectación del pH del agua tratada, teniendo en cuenta que nuestro país cuenta con una gran biodiversidad de especies que según el Instituto Humboldt para el 2017 se estimaba 56.343 especies sin considerar la enorme diversidad de microorganismos existentes, se entiende la importancia y la ventaja no solo a nivel económico en donde los costos de tratamiento se ven reducidos debido a la disponibilidad de la especie en el área de estudio, sino que además el buscar alternativas que nos permitan emplear coagulantes-floculantes de origen natural como sustituto parcial y/o total de los coagulantes-floculantes químicos tradicionalmente empleados para el tratamiento primario de los efluentes contaminados reduciendo el grado de contaminación del recurso hídrico sin afectar el mismo.

Este trabajo se hace necesario debido a la importancia de recopilar la información bibliográfica sobre los extractos derivados de especies naturales utilizados como coagulantes-floculantes y sus aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales, realizando un análisis crítico que permita identificar que variables fisicoquímicas y técnicas son más influyentes en el uso de distintas especies naturales en el tratamiento de aguas residuales.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Diseñar un método de evaluación del potencial de extractos de especies naturales utilizados como coagulantes-floculantes para el tratamiento de aguas residuales a partir de la recopilación de información bibliográfica en bases de datos especializadas.

5.2. Objetivos específicos

- Analizar la información bibliográfica con respecto al método de obtención de la parte coagulante-floculante, las principales características fisicoquímicas y el fundamento científico de su funcionamiento para cada especie evaluada.
- Definir las variables de mayor importancia que intervienen en los procesos de desarrollo e implementación de los coagulantes-floculantes naturales a través de un análisis de preponderancia.
- Identificar a través del método de evaluación cuales de las especies encontradas representan una mayor factibilidad técnica para su aplicación y funcionamiento teniendo en cuenta los criterios evaluados.

6. MARCO DE REFERENCIA

Dentro del marco de referencia se tiene en cuenta tanto el marco teórico como el marco normativo lo que nos permite contextualizar la investigación en base a los objetivos planteados.

6.1. Marco teórico

A continuación se abordan los conceptos fundamentales para el desarrollo de la presente investigación:

6.1.1. Desarrollo sostenible y recurso hídrico

El desarrollo sostenible se apoya en la adecuada administración de los recursos humanos, materiales y económicos y, en particular, de los recursos naturales; Es definido como “aquel desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. Este concepto es particularmente cierto, de acuerdo con (Juárez, 2011), cuando se trata de los recursos hídricos, ya que el agua es un recurso indispensable para la vida y la escasez de este recurso, es constantemente motivo de problemas y de conflictos tanto sociales como económicos.

De acuerdo con la (ONU, 2015) el agua está en el centro del desarrollo sostenible y resulta fundamental para el desarrollo socio-económico, unos ecosistemas saludables y la supervivencia humana. El agua resulta vital a la hora de reducir la carga mundial de enfermedades y para mejorar la salud, el bienestar y la productividad de las poblaciones, así como para la producción y la preservación de una serie de beneficios y servicios de los que gozan las personas. El agua, también, está en el corazón de la adaptación al cambio climático, sirviendo de vínculo crucial entre el sistema climático, la sociedad humana y el medio ambiente.

De acuerdo con el Reporte del Estudio Nacional del Agua 2018 (IDEAM, 2018) el mundo tiene 43.764 Km³ de agua por año de los cuales 2188,2 Km³ se encuentran en el territorio colombiano. Aunque Colombia posee una abundante riqueza hídrica, esta se encuentra irregularmente distribuida en tiempo y espacio. A lo anterior se suma el continuo deterioro de la calidad del recurso por contaminación, debido a su uso insostenible y a la ocupación no planificada del territorio, entre otros; esta situación aumenta las condiciones de vulnerabilidad de la población frente a cambios ambientales, como la variabilidad y el cambio climático (Loaiza Cerón, Reyes Trujillo, & Carvajal Escobar, 2012).

Pese a que Colombia no es un país que soporta su desarrollo económico en el sector industrial manufacturero, existen algunos núcleos ubicados en las principales ciudades donde el uso de agua es relevante. Dada la variación metodológica la demanda hídrica se estima para ENA (Estudio Nacional del Agua) 2018 en un valor de 1074,6 millones de m³/año, que incluye

unidades grandes, medianas y pequeñas, y significa un 4,4 % de la demanda total de agua. La huella hídrica azul alcanza 124,9 millones de m³/año, valor que corresponde al 11,6 % de la demanda hídrica sectorial y que resulta superior en un 90% al reportado para la industria manufacturera en el ENA 2014 (IDEAM, 2018).

6.1.2. Contaminación del recurso hídrico

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente (ONU, 2015).

La escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el desarrollo económico que debido a sus modelos de producción generan grandes afectaciones en el recurso hídrico. Según un estudio de la (ONU, 2015) el 80% de las aguas residuales se vierten en vías fluviales sin un tratamiento adecuado, generando en el último siglo la pérdida del 70% de las zonas húmedas naturales en el mundo.

En Colombia, el acabe en materia de saneamiento hídrico presenta atrasos significativos, Según el programa Saneamiento y manejo de vertimientos solo el 42,6% de las aguas residuales son tratadas en el país, a pesar del desarrollo de normativas para la regulación de los vertimientos tanto domésticos como industriales, lo cual evidencia que la problemática de contaminación hídrica no se resuelve solamente desde la legislación (Ministerio de Vivienda, 2017).

6.1.2.1. Contaminación hídrica desde el sector industrial

Pese a que Colombia no es un país que soporta su desarrollo económico en el sector industrial manufacturero, existen algunos núcleos ubicados en las principales ciudades donde el uso de agua es relevante. Dada la variación metodológica la demanda hídrica se estima para ENA (Estudio Nacional del Agua) 2018 en un valor de 1074,6 millones de m³/año, que incluye unidades grandes, medianas y pequeñas, y significa un 4,4 % de la demanda total de agua. La huella hídrica azul alcanza 124,9 millones de m³/año, valor que corresponde al 11,6 % de la demanda hídrica sectorial y que resulta superior en un 90% al reportado para la industria manufacturera en el ENA 2014 (IDEAM, 2018).

Los compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran en aguas residuales procedentes de instalaciones industriales diversas. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química.

Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo (Tous Herazo, Castro Mercado, Cañón Páez, Quintana Saavedra, & Torres Parra, 2007).

6.1.3. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales industriales varían en cantidad, composición y fuerza, dependiendo de la fuente industrial específica. La agencia de protección ambiental (EPA) ha identificado 129 contaminantes prioritarios. Las industrias pueden elegir tratar su desecho en sitio, siguiendo los lineamientos para los contaminantes prioritarios, así como también pueden elegir enviar sus residuos a alcantarillas hacia una planta de tratamiento de aguas residuales.

El diseño y operación de una instalación de tratamiento de aguas residuales requiere un entendimiento de las operaciones de unidad que emplean procesos fundamentales físicos, químicos y biológicos para eliminar constituyentes específicos de la calidad de agua. Los pasos involucrados en el tratamiento convencional de aguas residuales son: 1) pre tratamiento, 2) tratamiento primario, 3) tratamiento secundario, 4) tratamiento terciario para remover nutrientes (N, P) y, 5) Desinfección (Mihelcic, James y Zimmerman, 2012).

6.1.3.1. Parámetros de calidad de agua en el tratamiento de aguas residuales

A continuación, se describen los parámetros más importantes para la medición de la calidad de agua dentro de la resolución 0631 de 2015. De los cuales fueron abordados algunos de los parámetros en la presente investigación:

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
-----------	-------------

pH	Este parámetro está definido como el logaritmo del inverso de la concentración de hidrogeniones (H ⁺). El pH es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso. En un sentido estricto es una medida de la actividad del ion hidronio, en un sentido práctico, es una medida de la concentración molar del ion hidronio en un sistema acuoso. El pH es una medida de la intensidad ácida o alcalina de una muestra de agua. Las mediciones de pH se realizan en una escala de 0 a 14, donde se asume el valor de 7.0 como neutro, las soluciones con pH inferiores a 7.0 se consideran ácidos y las soluciones con pH superior a 7.0 se consideran alcalinas o bases.
Turbiedad	Es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Es producida por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos.
DBO	Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación.
DQO	Está definido como la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo; permite determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas, así como la eficacia de las unidades de tratamiento.
Oxígeno disuelto	El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal del oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos. El oxígeno se considera un compuesto ligeramente soluble en el agua y su presencia en solución está determinada por la solubilidad del gas, la presión, la temperatura y la pureza del agua. Se conoce además que la concentración del oxígeno disuelto es dependiente de factores como: re oxigenación atmosférica, respiración animal y vegetal, demanda béntica, demanda bioquímica.
Sabor y Olor	El olor del agua se debe principalmente a la presencia de sustancias orgánicas. Algunos olores indican un incremento en la actividad biológica, otros pueden tener su origen en la contaminación industrial. La percepción combinada de sustancias detectadas por los sentidos del gusto y del olfato se conoce generalmente con el nombre de sabor. En general el agua para consumo humano debe estar libre de olores y sabores desagradables, y a nivel industrial la presencia de olores puede ser indicador de contaminantes en los vertimientos.

Temperatura	La radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y además afecta la temperatura del agua. La radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y además afecta la temperatura del agua. Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.
Alcalinidad	Es la capacidad de neutralizar ácidos y en una muestra es la suma de todas las bases titulables, la alcalinidad de muchas aguas superficiales es primariamente una función del contenido de hidroxilos, carbonatos, bicarbonatos (calcio, potasio, sodio y magnesio) por tanto se toma como un indicador de la concentración de estos constituyentes
Dureza	Está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella, evaluados como carbonato de calcio y magnesio.
Sólidos Suspendidos	Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición.
Sólidos Totales	Se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua a un proceso de evaporación entre 103-105°C. Los sólidos totales incluyen disueltos y suspendidos, los sólidos disueltos son aquellos que quedan después del secado de una muestra de agua a 103-105°C previa filtración de las partículas mayores a 1.2 µm
Metales	La presencia de metales en agua potable, aguas residuales, y en los cuerpos de aguas receptores, constituye un serio problema, ya que su toxicidad afecta adversamente a los seres vivos que consumen agua, a los sistemas de tratamiento de aguas residuales y a los ecosistemas. Los metales pueden ser analizados por medio de espectroscopia de absorción atómica, polarografía o colorimetría. Los metales son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicamente. Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico-químicas.
Coliformes	Los coliformes totales son clasificados como bacilos gram negativos aerobios y anaerobios facultativos no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas después de incubación durante 24-48 horas a 35°C. Incluye los géneros Citrobacter spp., Klebsiella spp., Enterobacter spp., en este último se encuentra la E. coli, exclusiva de heces animales homeotérmicos. Los coliformes fecales constituyen un subgrupo de los coliformes totales, y se diferencian de los anteriores por ser tolerantes a temperaturas más altas, creciendo a 44.5°C. Se denominan termotolerantes por su habilidad de soportar temperaturas más elevadas.

Adaptado de (Cortolima, 2003)

6.1.3.2. Técnicas para el tratamiento de aguas residuales

A continuación, se presentan los procesos unitarios utilizados generalmente para el tratamiento de aguas:

Tabla 2 . Técnicas/procesos unitarios utilizados en el tratamiento de aguas residuales

Constituyente	Proceso(s) Unitario(s)
Turbiedad y partículas	Coagulación/floculación, sedimentación, filtración
Principales inorgánicos disueltos	Ablandamiento, aireación, membranas.
Inorgánicos disueltos menores	Membranas
Patógenos	Sedimentación, filtración, desinfección

Tomada de (Mihelcic, James y Zimmerman, 2012)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales se pueden clasificar según el tipo de proceso: Procesos físicos (Remoción de material en suspensión, rejillas, sedimentador, espesadores y filtración), procesos químicos (aplicación de productos químicos para eliminación o conversión de los contaminantes- Coagulación, floculación) y procesos biológicos (Actividad biológica de los microorganismos).

También, las técnicas para el tratamiento de aguas residuales se pueden clasificar según el grado de tratamiento: Tratamiento preliminar (Cribado, Tamices estáticos, trituradores de canal, desarenadores), tratamientos primarios (Sedimentación, flotación, coagulación y floculación) y tratamientos secundarios (Lodos activados, carbón activado, entre otros) (Isabel & Gutiérrez, 2013).

6.1.3.2.1. Coagulación y floculación

La técnica más común utilizada para remover las partículas y una porción de materia orgánica disuelta es la combinación de coagulación y floculación seguida por la sedimentación o la filtración. La coagulación es un paso de neutralización de carga que involucra el acondicionamiento de la materia suspendida, coloidal y disuelta al añadir coagulante. La floculación involucra la agregación de partículas desestabilizadas y la formación de partículas más grandes conocidos como flóculos (Mihelcic, James y Zimmerman, 2012).

Debido a que la mayoría de las partículas que se encuentran en el agua tienen carga negativa en los pH neutrales, pueden desestabilizarse mediante adsorción o cationes con carga positiva o polímeros. La dosis (en mg/L) de dichas sales o polímeros es crítica para procesos de floculación subsecuentes. Con la dosis apropiada, la carga será neutralizada y las partículas se

unirán. Sin embargo, si la dosis es muy alta, las partículas en vez de neutralizarse, adquirirán una carga positiva y se volverán nuevamente estables. (Mihelcic, James y Zimmerman, 2012)

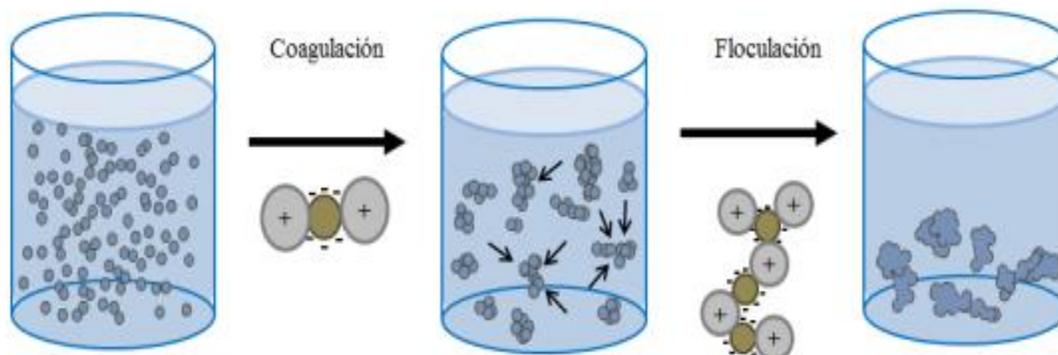


Ilustración 1: Proceso de coagulación - floculación, mediado a través de la adición de un agente desestabilizante de partículas coloidales (Quiroga-Almaguera, Rodríguez-Badilloa, Rangel-Riveraa, & Rangel-Porrassa, 2012).

Al estar los coloides cargados negativamente, se vuelven estables en el agua debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan. Mediante el proceso de coagulación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas. Esta neutralización suele realizarse aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. (Yaniris, 2006)

Cuando agregamos un coagulante al agua, esta se hidroliza y puede producir la desestabilización de las partículas por simple adsorción específica de los productos de hidrólisis, generalmente con carga positiva, en la doble capa que rodea a los coloides negativamente cargados. La formación de los flóculos es consecuencia de la agrupación de las partículas descargadas al ponerse en contacto unas con otras, puede ser acusada por la colisión entre las partículas, debido a que cuando se acercan lo suficiente las superficies sólidas, las fuerzas de van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión. El coagulante aplicado da lugar a la formación del flóculo, pero es necesario aumentar su volumen, su peso y especialmente su cohesión. Para favorecer el engrosamiento del flóculo será necesaria una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula flóculo (Yaniris, 2006).

6.1.3.2.1.1. Ensayo de jarras

El ensayo de jarras se utiliza ampliamente para cribar el tipo de coagulante y la dosis apropiada de coagulante. El aparato del ensayo de jarras consiste de seis reactores discontinuos cuadrados, cada uno equipado con una paleta mezcladora que puede girar a velocidades variables. En un ensayo de jarras, las adiciones por lote de varios tipos y distintas dosis de coagulantes se añaden a la muestra de agua. Esta etapa es seguida por una etapa de mezcla lenta para mejorar la formación de flóculos. Entonces a las muestras se les permite asentarse bajo condiciones sin disturbios, y la turbiedad del flotante asentado se mide y se traza como una función de dosis coagulante para determinar la dosis coagulante apropiada (Mihelcic, James y Zimmerman, 2012).

En este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, entre los cuales tenemos el pH, la temperatura, la concentración de coagulante, grado de agitación y tiempo de sedimentación. El pH desempeña un papel muy importante en el estudio de los fenómenos de coagulación-floculación, es así como una parte de las partículas coloidales que han absorbido iones OH^- , queda destruida por aumento de la concentración de iones H_3O^+ que ocasiona una disminución de la estabilidad de la suspensión coloidal. La temperatura del agua también influye grandemente en la efectividad de la coagulación y en la velocidad de formación del flóculo. Según disminuye la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de coagulante, con el fin de lograr o asegurar la formación de flóculos adecuados. El tiempo de mezclado del coagulante en el agua a tratar será el necesario para que el producto utilizado se difunda con la mayor rapidez posible (Yaniris, 2006).

6.1.3.3. Coagulantes-Floculantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales

Un coagulante es el químico que se añade para desestabilizar partículas y lograr la coagulación. La selección del coagulante apropiado depende de las características del coagulante, la concentración y tipo de partículas, calidad del agua, costo y disponibilidad y, por último, las características de deshidratación de los sólidos que se producen (Mihelcic, James y Zimmerman, 2012). A continuación se presenta una tabla con los coagulantes-floculante más utilizados en el tratamiento de aguas residuales:

Tabla 3 Principales coagulantes-floculantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales

Tipo de Coagulante	Ejemplos
Coagulantes metálicos inorgánicos	Sulfato de aluminio, Aluminato de sodio, cloruro de aluminio, sulfato ferroso y cloruro férrico
Sales metálicas pre hidrolizadas	Hechas de alumbre y sales de hierro e hidróxido bajo condiciones controladas
Polímeros orgánicos	Polímeros catiónicos, polímeros aniónicos y polímeros sintéticos
Materiales naturales basados en especies vegetales	Algunas especies principalmente de las familias Fabaceae, Moringaceae, Meliaceae, Euforbiaceae, Conboluaceae, Rubiaceae, Cactaceae, Musaceae, Lauraceae y algunos polímeros orgánicos como el quitosano.

En los últimos años, se han realizado diferentes estudios de en el desarrollo del uso de coagulantes naturales, los cuales son producidos o extraídos a partir de microorganismos, plantas o animales. Su importancia radica en que son sustancias biodegradables que producen menos volumen de lodos, aproximadamente 20 o 30 % menos a las que se generan por el empleo de agentes químicos (Šćiban et al., 2009). Además, estos coagulantes naturales funcionan por medio de un mecanismo de adsorción seguido de neutralización de carga o efecto de puente polimérico.

A nivel internacional un estudio realizado por (Patel & Vashi, 2015) cuya intención era remover el tinte rojo presente en una muestra de agua cruda utilizando coagulantes naturales obtenidos a partir de (*Moringa oleífera*) en polvo, semillas de maíz (*Zeemays sp.*) en polvo y quitosano. En los últimos años, diferentes estudios han sido llevados a cabo sobre una variedad de materiales vegetales y animales, que se pueden utilizar como fuente de coagulante naturales. Aunque se han reportado muchos coagulantes de origen vegetal, solamente cuatro tipos son más conocidos entre la comunidad científica, a saber, semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*), *Moringa oleífera*, taninos, y *Hylocereus cf. trigonus*. La mayoría de los extractos naturales se derivan de semillas, de hojas, de cortezas, de raíces y de frutas, extraídos de árboles y de plantas (Pritchard, Mkandawire, Edmondson, O'Neill, & Kululanga, 2009).

El Material vegetal que ha recibido el mayor grado de atención son las semillas de *M. oleífera* usada como coagulante primario en la clarificación de aguas. Son diversos los coagulantes naturales que han sido utilizados en la clarificación de agua dentro de la extensa gama de productos estudiados hasta la fecha en el mundo. Los componentes coagulantes activos son principalmente polisacáridos o proteínas, los cuales presentan eficiente capacidad de coagulación y floculación de diversidad de contaminantes provenientes de aguas residuales. Por lo tanto, los estudios confirman que son una fuente alternativa con gran potencial aún no explotado suficientemente. Por lo general, presentan una mínima toxicidad y, en muchos casos, son productos alimenticios con alto contenido de carbohidratos y de proteínas solubles en agua (Yang Yin, 2010)

Se ha descubierto que los extractos naturales derivados de semillas, hojas, cortezas y raíces de árboles forman coágulos o flocúlos cuando se usan en el proceso de clarificación del tratamiento de aguas residuales. Además, tienen ventajas comprobadas sobre las tradicionales; como ser de bajo costo, tener un poder antimicrobiano y la capacidad de trabajar a bajas concentraciones, pero también y más importante, son seguros para la salud y no son tóxicos (López León, Matias Cervantes, & Matías-Pérez, 2017).

A continuación, se presentan las principales características de familias en donde se han encontrado mayor cantidad de especies con estudios en su aplicación como coagulantes y floculantes.

Tabla 4. Descripción de familias con mayos cantidad de especies encontradas con estudios como coagulantes y floculantes.

Familia	Descripción
Cactaceae	<p>Familia de plantas dicotiledóneas arquiclamídeas, orden de las centrospermas, perennes, crasas; de tallo grueso acostillado y verrugoso con pelos y espinas (hojas transformadas de las yemas típicas de la familia de las cactáceas). – <i>Opuntia ficus-indica</i> (chumbera) América central</p>
Convolvulaceae	<p>Familia de plantas del orden Solanales, subclase Asteridae. Dícese de árboles, matas y hierbas angiospermas dicotiledóneas, que tienen hojas alternas, corola en forma de tubo o campana, con cinco pliegues, y semillas con albumen mucilaginoso. – <i>Ipomoea batatas</i> (batata) – <i>Ipomoea purpúrea</i></p>
Euphorbiaceae	<p>Familia de plantas dicotiledóneas, del orden de las tricocales, o sea con tres carpelos, por lo común, y semilla con carúncula; flores unisexuales; hierbas o plantas leñosas, en general con hojas esparcidas, con frecuencias estipuladas; flores casi siempre en inflorescencias compuestas, fruto desdoblado en cocas, más rara vez en baya o drupa. Comprende varios grupos, y en las euforbieas la inflorescencia parcial es ciato, que simula flor hermafrodita. Las especies son unas 4.500 y con frecuencia tienen jugo lechoso. – <i>Euphorbia amigdaloides</i> – <i>Euphorbia broteri</i> – <i>Euphorbia characias</i> – <i>Euphorbia robbiae</i> – <i>Ricinus communis</i></p>
Fabaceae	

	<p>Familia de plantas dicotiledóneas, del orden de las rosales, herbáceas o leñosas; con corola papilionácea; hojas compuestas pinnadas; diez estambres generalmente; un carpelo plurióvulado, y fruto en legumbre. Comprenden tres subfamilias: Cesalpinoideas, Mimosideas y Papilionoideas.</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Cicer arietinum</i> (Garbanzo) – <i>Cytisus Scoparius</i> (Retama negra) Europa N. África – <i>Genista cinerea</i> (hiniesta) – <i>Genista purgans</i> (Piorno) S. Europa-N. África – <i>Genista tinctoria</i> (Retama de tintoreros) Europa-O. Asia – <i>Laburnum anagroides</i> (Lluvia de oro) Europa – <i>Lupinus Polyphyllus</i> (Altramuz) América noroccidental – <i>Medicago sativa</i> (Alfalfa) – <i>Retama sphaerocarpa</i> (Retama) P. Ibérica – <i>Robinia Pseudoacacia</i> (Falsa acacia) :N. América – <i>Robinia pseudoacacia</i> (Casque Rouge) – <i>Sophora Japonica</i> (sofora) China-Corea – <i>Spartium junceum</i> (Gayomba) R. Mediterránea – <i>Trifolium repens</i> (Trébol blanco) – <i>Ulex europaeus</i> (Tojo) Europa – <i>Vicia ervilla</i> (Yero) – <i>Vicia faba</i> (Haba)
Lauraceae	<p>Familia de árboles y arbustos del orden de las poliacarpales, con hojas persistentes, sencillas, coriáceas y sin estípulas; flores regulares con ovario monocarpelar; y fruto en baya o drupa. La corteza de sus tallos y las hojas contienen células secretoras aisladas, que producen un aceite esencial. Hay más de 1.000 especies en unos 40 géneros, repartidos por todas las zonas cálidas del mundo.</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Laurus azoriza</i> (Loro canario) Islas Canarias – <i>Laurus lusitanica</i> (Laurel de Portugal) Portugal – <i>Laurus nobilis</i> (Laurel real) R. Mediterránea
Meliaceae	<p>Familia de plantas angiospermas dicotiledóneas, de climas cálidos. Con hojas alternas, rara vez sencillas, flores en panojas, casi siempre axilares, y fruto capsular con semillas o albumen carnoso o sin él. Son unas 550 especies de países cálidos, la mayoría con células secretoras, muchas con cortezas febrífugas o maderas útiles.</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Melia azedarach</i> (Cinamomo) Himalaya-India
Moringaceae	<p>Grupo pequeño de plantas dentro del inmenso orden Brassicales que incluye la familia de la col y del rábano, junto con la familia del mastuerzo y de las alcaparras (APG, 2009). Moringaceae comprende únicamente un género, Moringa. Dentro de Moringa hay 13 especies (Verdcourt, 1985; Olson, 2002a)</p> <p>Sus especies se caracterizan por tener hojas pinnadas grandes, en donde cada hoja está dividida en muchos folíolos dispuestos sobre un armazón llamado raquis (Fig. 1A). Los frutos forman una cápsula larga y leñosa que cuando alcanza la madurez se abre lentamente en 3 valvas que se separan la una de la otra por su</p>

	<p>longitud, quedando pegadas sólo en la base del fruto. En la mayoría de las especies, las semillas presentan 3 alas longitudinales. La combinación de hojas pinnadas, frutos trivalvados y semillas con 3 alas hace que sea muy fácil reconocer una Moringa.</p>
Musaceae	<p>Familia de plantas monocotiledóneas que son de gran importancia económica, son muy estimados como fruta y vianda.</p> <p>Porte: hierbas perennes robustas de gran tamaño, rizomatosas, de tallos cortos, gruesos, tupidos y subterráneos.</p> <p>Hojas: largas, con vaina y largamente pecioladas (pecíolo acanalado, con forma de media luna en corte trasversal); dispuestas en espiral, superpuestas unas con otras formando una roseta basal, de modo que sus largas vainas apretadas unas con otras forman un falso tronco (pseudotallo) alrededor del escapo terminal.</p> <p>Flores: irregulares, nectaríferas (nectarios septales), funcionalmente imperfectas (por aborto), zigomorfas, en inflorescencias anuales terminales, una por pseudotallo, pedunculadas y tirsoideas.</p> <p>Fruto: cápsula seca –Ensete- o carnosa –Musa- (Cronquist, 1981). El fruto del banano (<i>Musa acuminata</i>) se origina de un ovario ínfero y puede producir semilla o desarrollarse partenocárpicamente.</p> <p>Semillas: en número variable, operculadas; en <i>Musa</i> estructuras parecidas a pelos han sido interpretadas por Friedrich como un arilo rudimentario. Llenas de perisperma feculento y endosperma; embrión recto o curvo (<i>Ensete</i>) (Cronquist, 1981).</p> <p>Distribución/Hábitat: La mayoría actualmente están dispersas en zonas tropicales húmedas (incluyendo Centro y Sur de América como grandes productores), con sus límites en los países montañosos más húmedos (Heywood, 1985).</p> <p style="text-align: center;">Géneros: Musa (50) Ensete (7) Musella (2)</p>
Rubiaceae	<p>Familia de plantas del orden y filo de liliáceas, perennes, herbáceas o sufruticosas, con hojas generalmente radicales, enteras, cintiformes, fórmula floral semejante a las liliáceas, pero con ovario generalmente ínfero y fruto en cápsula. Comprende 1.500 especies y unos 90 géneros.</p> <p style="text-align: center;">– <i>Agave americana</i> (Pita) México – <i>Dracaena indivisa</i> (drácena) Islas Canarias</p>

Tomado de (Peru, 2020) &(Olson & Fahey, 2011)

6.2. Marco normativo

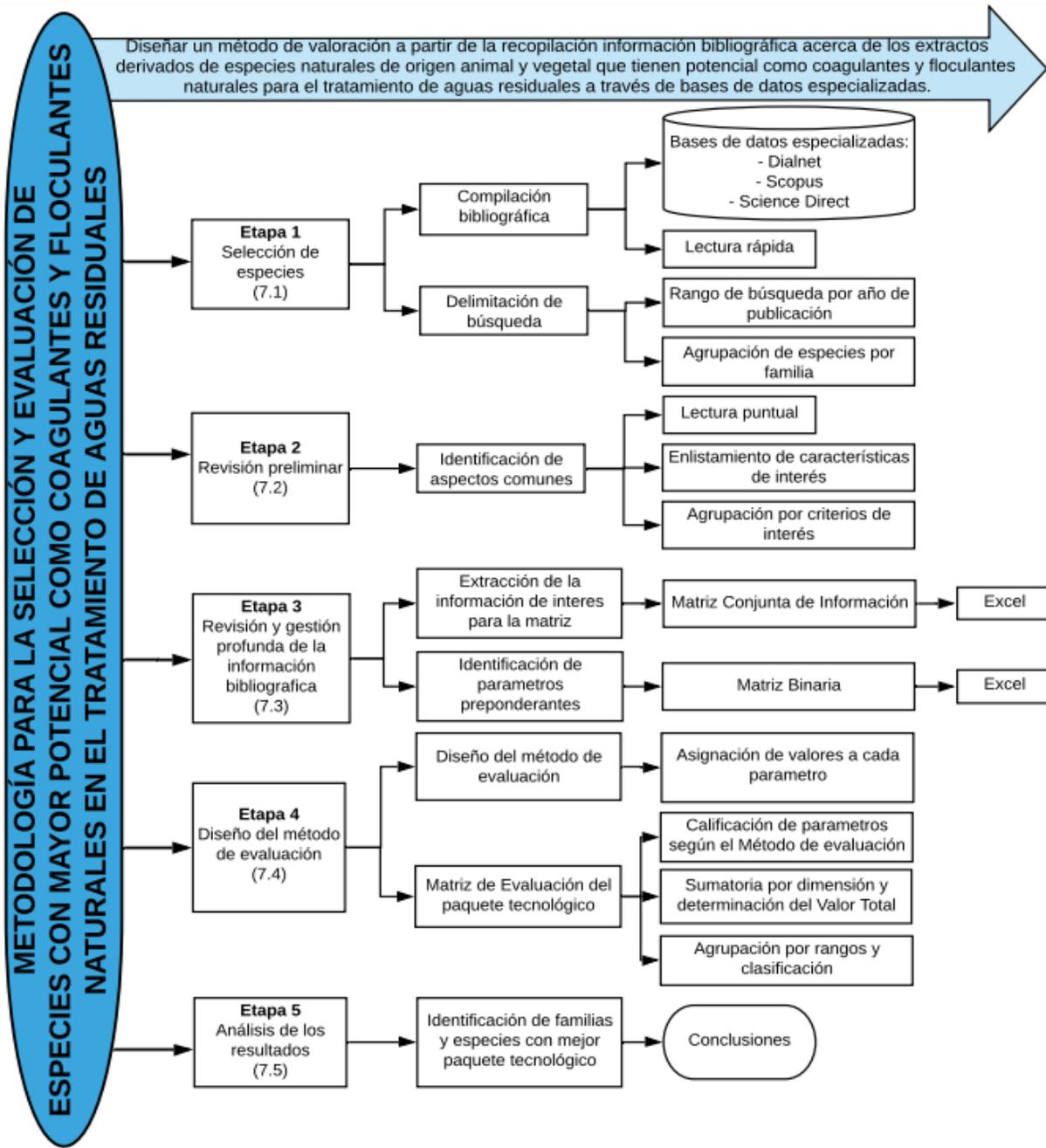
Para la elaboración de la presente investigación se tuvo en cuenta la legislación ambiental vigente en Colombia. En la tabla 5 se enuncian las leyes, decretos y resoluciones más relevantes que fueron tenidos en cuenta.

Tabla 5. Normativa a considerar para la realización del trabajo investigativo. (Autores, 2020)

Norma	Descripción
Constitución política de Colombia	Mecanismo e instrumentos de cumplimiento nacional
Ley 99 de 1993	Ley marco en materia ambiental, pro el cual se crea el ministerio de medio ambiente entre otros
Decreto 2811 de 1974	Menciona los factores que deterioran el ambiente, la contaminación del aire, agua, suelo o de los demás recursos renovables, entendiéndose por contaminación la alteración del medio ambiente por la actividad humana.
Ley 1333 de 2009	Se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones
Resolución 0631 de 2015	Se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano

7. METODOLOGÍA

El desarrollo de la presente investigación de tipo documental monográfica para su difusión científica comprende cinco (5) etapas; selección de especies, revisión preliminar, diseño del método de evaluación, revisión y gestión profunda de la información bibliográfica y por último el análisis de resultados. Por lo tanto, este proyecto se desarrolla bajo el concepto de monográfica de compilación, donde se busca la generación de conocimiento a través de la recopilación y evaluación de información bibliográfica que nos permitan aportar al desarrollo de nuevas alternativas para el tratamiento de aguas residuales a partir del estudio de especies naturales. A partir de esto, se presenta el siguiente diagrama metodológico;



Entendiéndose como técnicas, herramientas e instrumentos a las matrices que fueron desarrolladas, en las cuales se aplicaron métodos de clasificación por dimensiones y criterios para ser caracterizadas, clasificadas y evaluadas obteniendo como resultado final el desarrollo de una metodología evaluativa.

7.1. Selección de especies

En primer lugar, se realiza una compilación bibliográfica dentro de bases de datos especializadas como Dialnet, Science Direct y Scopus, en búsqueda de estudios donde se hallan utilizados especies naturales de origen vegetal o animal para el desarrollo de coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales.

En la información encontrada se realiza un escaneo rápido de la información primaria que permitan identificar la relevancia de la misma para el desarrollo del presente estudio; a partir de eso se establece unos límites de búsqueda como lo son un rango máximo de 5 años a partir de la fecha de publicación para artículos de estudio y aplicación, con excepción en citas madre como lo son libros y estudios de entidades gubernamentales.

Entendiendo que se debe delimitar la información encontrada por especies, se seleccionan las especies con mayor cantidad de información encontrada donde posteriormente se agrupan por familias para tener en cuenta tanto rasgos generales como específicos que puedan contribuir a la eficacia de cada especie como coagulante y floculante.

7.2. Revisión preliminar

Para esta segunda etapa se toma toda la información que ha sido recopilada previamente y realizando una lectura puntual de los resultados y análisis. Se procede a enlistar las

Ilustración 2: Metodología para la selección y evaluación de especies con mayor potencial como coagulantes/floculantes naturales en el tratamiento de aguas residuales. (Autores, 2020)

características relevantes encontradas dentro de cada documento para al final agruparlas por criterios de interés, los cuales para este estudio serán económicos, sociales, ambientales y técnicos. Se buscarán aquellas variables que tiene similitudes significativas entre si teniendo en cuenta las condiciones de estudio, dosis utilizadas, datos de rendimiento y variables fisicoquímicas analizadas, entre otras variables según la información recopilada lo permita.

Tomando los 42 parámetros obtenidos de la compilación bibliográfica se agruparon en 6 dimensiones basado en la metodología de Kamali & Hiwage (2015), la cual fue modificada

para el presente trabajo, con el fin de ir acorde a los objetivos planteados y la información recopilada.



Ilustración 3. Metodología para la determinación de criterios y dimensiones de interés de sustentabilidad en el tratamiento de aguas. Recopilado de Kamali &Hiwage (2015) y modificado por (Autores, 2020) (Ang & Mohammad, 2020)

7.3. Revisión y gestión de la información bibliográfica

Se procede a realizar una extracción de la información de interés de los documentos seleccionados dentro de tres (3) bases de datos especializadas; Dialnet, Scopus y Science Direct, en un rango no mayor de diez (10) años, con el fin de obtener una matriz que contenga toda la información de una manera conjunta y organizada. Posterior a ello, se realiza una matriz en donde se evidencie la existencia o no de la información en cada una de las variables establecidas con el objetivo de identificar los parámetros con mayor porcentaje de análisis y así establecer las variables más preponderantes para el posterior método de evaluación.

Tomando como base las especies, familias, documentos, parámetros y dimensiones previamente seleccionadas, se diseñó una matriz conjunta de información en donde se diligencia de forma concisa los datos a evaluar de cada variable que estuvieran presentes en los documentos; esto permitió hacer una revisión más profunda de la información que proporcione una mayor nivel de confianza en los datos recolectados para su posterior evaluación y realizar las correcciones que sean pertinentes.

Bajo la necesidad de analizar la información de una manera práctica y simultánea entre especies y parámetros, se diseñó la matriz binaria en la que se presenta de forma general la presencia (1) o ausencia (0) de la información, que sirvió como una herramienta para la toma de decisiones

en el diseño del método de evaluación a partir del porcentaje de análisis en el que cada variable fue evaluada en el total de los documentos consultados.

7.4. Diseño del método de evaluación

A partir del análisis de preponderancia de los parámetros establecidos, se diseña el método de evaluación bajo el cual se le asigna los rangos de valores a cada parámetro. Teniendo en cuenta que el criterio técnico por su relevancia, fueron asignados rangos de calificación a cada parámetro de acuerdo a su porcentaje de análisis, para realizar una sumatoria por dimensiones que permita determinar el valor máximo y mínimo posible para asegurar una proporcionalidad entre estas dimensiones. Las otras dimensiones que también fueron evaluadas, obtuvieron calificativos más bajos en base al porcentaje de análisis y la relevancia de la dimensión a la cual pertenecían.

En base a este método de evaluación se desarrolla la matriz de evaluación del paquete tecnológico, en la cual se califica la información acerca de los parámetros presentada en los documentos recopilados. Se realiza la sumatoria por dimensiones y la determinación del valor total para poder contrastar los resultados obtenidos y a su vez se clasifican los valores totales en 3 rangos: regular, bueno y Muy bueno para establecer cuales especies presenta mayor potencial como coagulantes/floculantes en el tratamiento de aguas residuales.

7.5. Análisis de los resultados

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de evaluación, se identifican aquellas especies y familias que obtuvieron la calificación más alta por cada criterio y en total, pasa así realizar un análisis crítico de la información en donde se establezcan cuales de estas especies y familias representan un mejor paquete tecnológico como alternativa a coagulantes y floculantes de origen químico.

8. RESULTADOS

8.1. Selección de especies

Se realizó una compilación bibliográfica dentro de tres (3) bases de datos especializadas; Dialnet, Scopus y Science Direct, buscando estudios donde se hayan utilizado especies naturales de origen vegetal o animal para el desarrollo de coagulantes y floculantes naturales en el tratamiento de aguas. Para ello se delimitó un rango de máximo tiempo de diez (10) años para cada artículo y se escogieron las siguientes ecuaciones de búsqueda.

Tabla 6. Ecuaciones de búsqueda para la compilación de información (Autores, 2020)

Nº	Ecuación	Nº	Ecuación
1	Coagulantes Naturales	10	(Family Name) ‘‘ and ’’ Flocculants
2	Natural Coagulants	11	(Nombre de la Familia) ‘‘and’’ Coagulantes y floculantes
3	Floculantes Naturales	12	(Family Name) ‘‘ and ’’ Coagulants and flocculants
4	Natural Flocculants	13	(Nombre de la Especie) ‘‘and’’ Coagulantes
5	Coagulantes y Floculantes Naturales	14	(Species Name) ‘‘ and ’’ Coagulants
6	Natural Coagulants and Flocculants	15	(Nombre de la Especie) ‘‘and’’ Floculantes
7	(Nombre de la Familia) ‘‘and’’ Coagulantes	16	(Species Name) ‘‘ and ’’ Flocculants
8	(Family Name) ‘‘ and ’’ Coagulants	17	(Nombre de la Especie) ‘‘and’’ Coagulantes y floculantes
9	(Nombre de la Familia) ‘‘and’’ Floculantes	18	(Species Name) ‘‘ and ’’ Coagulants and flocculants

Como se observa en la tabla, en un principio las ecuaciones de búsqueda se realizaron de manera generalizada, pero a medida de se iba obteniendo información más específica, se enfocó la búsqueda para aumentar y mejorar la cantidad de información por familia y por especie.

Al finalizar la búsqueda general se recopilaron 194 archivos con un total de 42 especies y 2 polímeros orgánicos, agrupados en 23 familias. Fueron escogidas 32 especies y 2 polímeros orgánicos, agrupados en 18 familias las cuales tenían mayor cantidad de información de interés y los polímeros orgánicos mencionados, estas junto con las especies en cuestión se encuentran señaladas en la tabla a continuación

Tabla 7. Resultados de búsqueda por familias, especies y otros grupos de interés. (Autores, 2020)

Nº	Especie	Familia	Nº	Especie	Familia
1	<i>Asatragalus gossypinum</i>	Fabaceae	23	<i>Poliacrilamida catiónica</i>	Polímeros orgánicos
2	<i>Cassia fistula</i>		24	<i>Quitosano</i>	
3	<i>Cassia grandis</i>		25	<i>Strychnos potatorum</i>	Loganiaceae
4	<i>Tamarindus indica</i>		26	<i>Zea mays</i>	Poaceae
5	<i>Caesalpinia spinosa</i>		27	<i>Pinus gerardiana</i>	Pinaceae
6	<i>Trigonella foenum-graecum</i>		28	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Solanaceae
7	<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>		29	<i>Solanum tuberosum</i>	
8	<i>Phaseolus vulgaris</i>		30	<i>Agave americano</i>	Asparagaceae
9	<i>Moringa oleifera</i>		Moringaceae	31	<i>Citrus sinensis</i>
10	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	32	<i>Citrofortunella microcarpa</i>	
11	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	33	<i>Citrus aurantifolia</i>	
12	<i>Jatropha curcas</i>		34	<i>Citrus paradisi</i>	
13	<i>Ipomoea incarnata</i>	Convolvulaceae	35	<i>Citrus limonum</i>	
14	<i>Coffea arabica</i>	Rubiaceae	36	<i>Mangifera indica</i>	Anarcadiaceae
15	<i>Cactaceas echinopsis</i>	Cactaceae	37	<i>Passiflora edulis</i>	Passifloraceae
16	<i>Hylocereus cf. trigonus</i>		38	<i>Tropaeolum tuberosum</i>	Tropaeolaceae
17	<i>Opuntia ficus indica</i>		39	<i>Aloe arborescens</i>	Asphodelaceae
18	<i>Lemaireocereus griseus</i>		40	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Araceae
19	<i>Opuntia cochenillifera</i>		41	<i>Spirodela punctata</i>	
20	<i>Musa acuminata</i>		Musaceae	42	<i>Abelmoschus esculentus</i>
21	<i>Musa paradisiaca</i>	43		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
22	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	44	<i>Ziziphus mauritiana</i>	Rhamnaceae

8.2. Revisión preliminar

En esta etapa se realizó una lectura rigurosa de todos los documentos con el fin de seleccionar aquellos que presentan información relevante y detallada para la determinación de la eficacia de las distintas especies naturales como coagulantes-floculantes en el tratamiento de aguas. A partir de la lectura puntual los 194 documentos obtenidos en la compilación bibliográfica se procedió a enlistar los parámetros y/o características evaluadas en las respectivas investigaciones, de lo cual se obtuvieron un total de 42 parámetros (Anexo 1).

En base a la metodología para la determinación de criterios comunes de sustentabilidad en el tratamiento de aguas residuales propuesta por Kamali & Hiwage (2015) se agruparon los 42 parámetros en 6 dimensiones de acuerdo a los criterios de interés; estas 6 dimensiones fueron: Técnico-Cualitativo (8 parámetros), Técnico-cuantitativo (28 parámetros), Técnico-Ambiental (2 parámetros), Socio-Ambiental (1 parámetro), Socio-Económico (1 parámetro) y económico (2 parámetros).

8.3. Revisión y gestión de la información bibliográfica

Una vez que se enlistaron aquellas características de interés que proveían los documentos, y que se determinaron las dimensiones de análisis en base a dichas características, se procedió a realizar una segunda revisión de cada artículo, a través de una lectura más profunda de la información con el objetivo de extraer de forma acertada y concisa en una matriz conjunta de información aquellos datos que permitan evaluar y valorar el uso de cada especie como coagulante y/o floculante natural. Ya con la matriz conjunta diligenciada, se diseñó la matriz binaria (ver anexo 2) la cual permitió visualizar de manera práctica la cantidad de información que se obtuvo por cada parámetros seleccionado en el presente estudio. Como se observa en la tabla 8, se analizaron un total de 110 estudios, teniendo en cuenta que en varios de los archivos se evaluaron simultáneamente más de una especie o polímero orgánico para completar un total de 146 resultados.

Con la matriz binaria fue posible identificar los parámetros que tenían una mayor frecuencia en los datos recolectados, es decir, aquellas características que fueron evaluadas en mayor número de documentos al igual que aquellas que presentaron una frecuencia media o baja. A continuación se muestra un resumen de lo que se obtuvo una vez realizada la matriz binaria:

Tabla 8. Resumen de la matriz binaria. (Autores, 2020)

Dimensión	Parámetro	Frecuencia de análisis	Porcentaje de análisis (%)	
TÉCNICO	CUALITATIVO	Dosis	142	97,26
		Turbiedad (NTU)	137	93,84
		Color	50	34,25
		DQO (%)	32	21,92
		Conductividad eléctrica (mS/cm)	25	17,12
		Alcalinidad (mg/L)	21	14,38
		DBO (%)	19	13,01
		Dureza total (mg/L CaCO ₃)	17	11,64
		OD (mg O ₂ /L)	5	3,42
	CUANTITATIVO	Método de extracción	135	92,47
		Tiempo de agitación	121	82,88
			122	83,56
		Velocidad de mezcla	116	79,45
			121	82,88
		Tiempo de sedimentación	111	76,03
		pH	82	56,16
		TSS (Sólidos Suspendedos Totales) (mg/L)	31	21,23
		Coliformes totales (CFU/100ml)	18	12,33
		Temperatura (°C)	12	8,22
		Cloruros (mg/L Cl)	12	8,22
		Coliformes fecales (NMP/100mL)	9	6,16
		Sulfatos (mg/L)	8	5,48
		Nitratos (mg/L)	7	4,79
		TDS (Sólidos disueltos totales (mg/L))	7	4,79
		Lodos producidos	5	3,42
		NH ₃ -N	4	2,74
		Fosfatos	4	2,74
		Pb	3	2,05
		Zn	3	2,05
		ST (Sólidos totales (mg/L))	2	1,37
		Cu	2	1,37
		COT	2	1,37
		Flúor (mg/L)	1	0,68
Cd	1	0,68		
Cr	1	0,68		
Ni	1	0,68		
TÉCNICO-AMBIENTAL	Forma de aplicación (simple/combinada)	146	100,00	
SOCIAMBIENTAL	Aplicación	146	100,00	
SOCIOECONÓMICO	Obtención	89	60,96	
ECONÓMICO	Almacenamiento	25	17,12	
	Costo	3	2,05	

Estos porcentajes fueron de vital importancia durante el método de evaluación, principalmente porque se tomaron como un pilar fundamental para establecer aquellos rangos de calificativos que podría obtener cada parámetro a evaluar.

8.4. Diseño del método de evaluación

Tomando como base la categorización por importancia de los parámetros se asignaron valores a cada variable y sus respectivos rangos para su evaluación. A continuación se presenta el método de evaluación para cada una de las dimensiones:

8.4.1. Método de evaluación de parámetros técnico cualitativo

La evaluación de los parámetros Técnico-Cualitativos se realizó de acuerdo al rango de eficiencia presentado en los documentos, teniendo en cuenta que aquellos parámetros que no se abordaron en los documentos se les otorgo un valor de 0.

Tabla 9. Método de evaluación parámetros técnico-cualitativos (Autores, 2020)

Método de evaluación parámetros técnico cualitativos	Turbiedad		Conductividad eléctrica	
	Rango (%)	Valor	Rango (Diferencia)	Valor
	0-20	4	>0,37	2
	21-40	8	0,369 a -0,062	4
	41-60	12	-0,063 a -0,504	6
	61-80	16	-0,505 a -0,946	8
	81-100	20	< -0,946	10
	DBO		Alcalinidad	
	Rango (%)	Valor	Rango (Diferencia)	Valor
	>20	2	> -30	2
21-40	4	-31 a -130	4	
41-60	6	-131 a -230	6	
61-80	8	-231 a -330	8	
81-100	10	< -330	10	
DQO		Color		
Rango (%)	Valor	Rango (%)	Valor	
>20	2	>20	3	
21-40	4	21-40	6	
41-60	6	41-60	9	
61-80	8	61-80	12	
81-100	10	81-100	15	

Oxígeno disuelto		Dureza	
Rango (Diferencia)	Valor	Rango (Diferencia)	Valor
-3 a -1	1	> -30	2
0 a 1	2	31 a -70	4
2 a 3	3	-71 a -170	6
4 a 5	4	-171 a -271	8
6 a 7	5	< -270	10

8.4.2. Método de evaluación de parámetros técnico cuantitativo

La evaluación de los parámetros Técnico-Cuantitativos se realizó de acuerdo a la presencia o ausencia de la información de la variable en los documentos, en base a lo cual se les dio un valor de 0 a aquellos que no presentaban la información, mientras que aquellos que presentan la información se les otorgo un valor entre 2 y 8, dependiendo la categorización de importancia de los parámetros realizada en la etapa anterior.

Tabla 10. Método de evaluación parámetros técnico cuantitativos (Autores, 2020)

Método de evaluación parámetros técnico cuantitativos	
Rango (%)	Valor
0-6	2
7-25	4
25-60	6
60-100	8

8.4.3. Método de evaluación de parámetros técnico ambiental

La evaluación de los parámetros técnico ambientales se dividió en 2 parámetros. El primer parámetro es la forma de aplicación, en la cual se evalúa la naturaleza del coagulante/floculante utilizado, en donde presenta un rango de valores entre 5 y 15, en donde el mayor valor es otorgado a aquellas experimentaciones que utilizaron únicamente especies naturales para la obtención del coagulante/floculante; el segundo parámetro evaluado es el porcentaje de especie natural utilizado para la obtención del coagulante, en donde se le da un mayor valor a aquellas experimentaciones en donde se utilizó la únicamente la especie natural para la obtención del coagulante/floculante. A continuación se presenta la tabla de evaluación para los parámetros técnico-ambientales:

Tabla 11. Método de evaluación parámetros técnico ambientales – Forma de aplicación (Autores, 2020)

Método de evaluación parámetros técnico ambientales	Forma de aplicación	Valor
	Natural-Químico	5
	Natural-Natural	10
	Natural	15
	Porcentaje de aplicación de la especie natural	Valor
	<50%	5
	>=50%	10
	100%	15

8.4.4. Método de evaluación de parámetros socio ambientales

La dimensión Socio ambiental presenta únicamente 1 variable la cual es la aplicación, la cual hace referencia al uso puntual que se le dio a la especie natural para el desarrollo de la investigación. Se tomó como premisa que en la compilación bibliográfica se filtró la búsqueda a tratamiento de aguas residuales debido a lo cual la evaluación para este parámetro se basó en la presencia o ausencia de la información, tal como se presenta a continuación:

Tabla 12. Método de evaluación parámetros socio ambientales – Aplicación (Autores, 2020)

Método de evaluación parámetros socio ambientales	
Aplicación	Valor
No presente	0
Presente	5

8.4.5. Método de evaluación de parámetros socio económicos

La dimensión Socio Económica presenta únicamente 1 variable la cual es la obtención, la cual hace referencia al lugar y/o procedencia de la especie natural que se utilizó como coagulante/floculante. Este parámetro se evaluó teniendo en cuenta la presencia o ausencia de la información en los documentos, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 13. Método de evaluación parámetros socio económicos- Obtención (Autores, 2020)

Método de evaluación parámetros socio económicos	
Obtención	Valor
No presente	0
Presente	5

8.4.6. Método de evaluación de parámetros económicos

La dimensión económica se compone de 2 parámetros; el primero es el almacenamiento el cual nos indica la manera en la que se preservó el coagulante/floculante para su posterior uso, y el segundo parámetro es el costo de aplicación el cual nos indica el valor monetario de la obtención de la especie natural que fue empleada para la obtención del coagulante/floculante. Esta dimensión se evaluó teniendo en cuenta la presencia o ausencia de la información en los documentos, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 14. Método de evaluación parámetros económicos (Autores, 2020)

Método de evaluación parámetros económicos	Aplicación	Valor
	No presente	0
	Presente	5
	Costo	Valor
	No presente	0
	Presente	5

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1. Selección de especies a evaluar

A partir de la recopilación bibliográfica se obtuvieron 42 especies naturales y 2 polímeros orgánicos, agrupados en 23 familias de las cuales se seleccionaron 32 especies y 2 polímeros orgánicos, agrupados en 18 familias bajo criterios de la cantidad de información de interés y conocimiento previo de las especies. En la tabla 15 se presentan las especies que fueron seleccionadas para la revisión preliminar.

Tabla 15. Especies y familias seleccionadas para la revisión preliminar (Autores, 2020)

N°	Especie	Familia	N°	Especie	Familia
1	<i>Asatragalus gossypinum</i>	Fabaceae	23	<i>Poliacrilamida catiónica</i>	Polímeros orgánicos
2	<i>Cassia fistula</i>		24	<i>Quitosano</i>	
3	<i>Cassia grandis</i>		25	<i>Strychnos potatorum</i>	Loganiaceae
4	<i>Tamarindus indica</i>		26	<i>Zea mays</i>	Poaceae
5	<i>Caesalpinia spinosa</i>		27	<i>Pinus gerardiana</i>	Pinaceae
6	<i>Trigonella foenum-graecum</i>		28	<i>Solanum elaeagnifolium</i>	Solanaceae
7	<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>		29	<i>Solanum tuberosum</i>	
8	<i>Phaseolus vulgaris</i>		30	<i>Agave americano</i>	Asparagaceae
9	<i>Moringa oleifera</i>		Moringaceae	31	<i>Citrus sinensis</i>
10	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	32	<i>Citrofortunella microcarpa</i>	
11	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	33	<i>Citrus aurantifolia</i>	
12	<i>Jatropha curcas</i>		34	<i>Citrus paradisi</i>	
13	<i>Ipomoea incarnata</i>	Convolvulaceae	35	<i>Citrus limonum</i>	
14	<i>Coffea arabica</i>	Rubiaceae	36	<i>Mangifera indica</i>	Anarcadiaceae
15	<i>Cactaceas echinopsis</i>	Cactaceae	37	<i>Passiflora edulis</i>	Passifloraceae
16	<i>Hylocereus cf. trigonus</i>		38	<i>Tropaeolum tuberosum</i>	Tropaeolaceae
17	<i>Opuntia ficus indica</i>		39	<i>Aloe arborescens</i>	Asphodelaceae
18	<i>Lemaireocereus griseus</i>		40	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Araceae
19	<i>Opuntia cochenillifera</i>		41	<i>Spirodela punctata</i>	
20	<i>Musa acuminata</i>		Musaceae	42	<i>Abelmoschus esculentus</i>
21	<i>Musa paradisiaca</i>	43		<i>Guazuma ulmifolia</i>	
22	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	44	<i>Ziziphus mauritiana</i>	Rhamnaceae

Se pudo observar que las familias con mayor información son: Fabaceae (28 artículos), Moringaceae (24 artículos), Cactaceae (21 artículos), Musaceae (14 artículos) y Loganiaceae (14 artículos); por otro lado se observa que las familias con menor cantidad de información son: Tropaeolaceae (1 artículo), Rhamnaceae (1 artículo) y Lemnaceae (1Artículo). Así mismo, se destaca que la *Moringa Oleifera* es la especie a la cual se le ha realizado mayor cantidad de investigaciones presentando un total de 24 artículos.

9.2. Revisión preliminar

De los 194 documentos compilados en la revisión bibliográfica se descartaron un total de 84 documentos en base a los siguientes criterios:

- Aplicación de la Investigación: La aplicación de la investigación difería de los objetivos del presente trabajo, debido a que se enfocaban en el proceso de coagulación/floculación en procesos productivos y/o medicamentos mas no en el tratamiento de aguas, el cual es el enfoque de la presente metodología.
- Información de interes clara y coherente: Los archivos encontrados aun siendo resúmenes de investigaciones no presentan información de importancia para la presente metodología tales como el método de extracción, dosis, mecanismo del test de jarras, correlación de los datos y presencia de los datos iniciales, debido a lo cual los documentos fueron descartados.
- Presentación del documento: Aquellos documentos que presentaban deficiencias en la presentación tales como: hojas incompletas y documentos extraídos de libros (No hacían referencia a investigaciones).

Se obtuvieron un total de 110 documentos los cuales fueron la base para el desarrollo de la presente metodología.

Como se muestra en la ilustración 3, a partir del criterio técnico surgieron 3 dimensiones: Técnico- cualitativa, Técnico-Cuantitativa y Técnico-Ambiental; Los parámetros Técnico-Cualitativos abordan aquellas características fisicoquímicas que presentaron unidades homogéneas en la totalidad de los documentos, lo cual permitía un análisis comparativo entre los resultados. Los parámetros Técnico-Cuantitativos abordan aquellas variables que no presentan unidades homogéneas por lo cual no son comparables entre sí. Los parámetros Técnico-Ambientales evalúa la forma de aplicación, es decir, si el coagulante/floculante fue obtenido a partir de una única especie natural, de la combinación de dos especies naturales o de la combinación de una especie natural con un coagulante/floculante químico y la proporción de cada combinación; Estas tres dimensiones son las más relevantes debido a que nos permiten

evaluar el funcionamiento, nivel de investigación y la eficiencia de cada especie como potencial coagulante/floculante desde el criterio técnico.

A partir de la correlación de los criterios ambientales, económicos y sociales surgieron 3 dimensiones: Socio-Ambiental, Socio-Económica y Económica; La dimensión Socio-Ambiental evalúa la aplicación, es decir, que se mencione en cada documento y a su vez vaya acorde a los objetivos del mismo. La dimensión Socio-Económica evalúa si especificaba la información acerca de la obtención los recursos e insumos para la desarrollo del coagulante/floculante natural. La dimensión económica evalúa la presencia de información de costo y almacenamiento en los documentos. Estas tres dimensiones aunque solo tiene en cuenta la presencia de la información, son importantes porque aquellos documentos que especifiquen esta información promueven a que la experimentación sea replicada de forma exitosa, a tener un panorama amplio y detallado del desarrollo de cada coagulante/floculante y minimiza el margen de error para futuras investigaciones.

9.3.Revisión y gestión de la información bibliográfica

A groso modo se pudo identificar que en todos los documentos se especifican aspectos como la forma de aplicación y la aplicación la cual nos permite establecer el uso principal dentro de cada estudio en cuestión. Los parámetros que le siguen son: Dosis (97,26%), Turbiedad (93,84%), Método de extracción (92,47%), Tiempo de agitación rápido (83,56%) y lento (82,88%), Velocidad de Mezcla rápida (82,88%) y lenta (79,45), Tiempo de sedimentación (76,03%), la obtención (60,96%) y por último el pH (56,16%). El resto de los parámetros evaluados tuvieron un porcentaje de frecuencia inferior al 50%. De los 42 parámetros seleccionados para el método de evaluación, solo 10 de ellos presentan un porcentaje de análisis superior al 50%, siendo todos ellos parámetros de criterio técnico.

9.4. Diseño del método de evaluación

A partir de la etapa anterior, se observó que los parámetros fisicoquímicos agrupados en el criterio Técnico fueron los más preponderantes, lo cual le dio mayor relevancia al momento del diseño del método de evaluación. Este método de evaluación permite analizar la información recolectada de una manera equitativa para el análisis de cada documento, especie y familia.

9.5. Evaluación de las especies como coagulante/floculantes naturales

A partir de la matriz binaria y el método de evaluación se diseñó una matriz de evaluación del paquete tecnológico para la aplicación de extractos de especies naturales como coagulantes/floculantes en el tratamiento de aguas, en la cual se tomó la información recopilada en los documentos seleccionados para asignar un valor dentro del rango establecido para cada parámetro de acuerdo al método de evaluación.

Tomando como punto de partida que los parámetros están agrupados por dimensiones, se realizó la suma de los valores asignados a cada parámetro para obtener un subtotal por dimensión, los cuales a su vez se sumaron para obtener el valor total por estudio. Una vez realizado este procedimiento se llevó a cabo un promedio para cada especie, en base a la sumatoria de los resultados totales sobre la cantidad los estudios realizados; con ello se buscaba poder analizar el comportamiento de las especies en cada una de las dimensiones de forma individual, y luego comparar lo observado con el valor total. (Anexo 3)

Una vez realizada la asignación de valores a cada parámetro se hizo un análisis para cada variable que compone la dimensión técnico cualitativo debido a que permite evaluar la eficacia de las especies como coagulantes/floculantes en el tratamiento de aguas.

- **Turbiedad:** Dentro de este parámetro las especies y polímeros que presentan un mayor porcentaje de remoción son: *Astragalus Gossypinum* (Tragacanto), *Trigonella foenum-graecum* (Fenogreco), *Cyamopsis tetragonoloba* (Guar), *Phaseolus vulgaris* (Frijol), *Moringa Oleífera* (Moringa), *Guazuma ulmifolia* (Guásimo), *Jatropha Curcas* (Jatrofa), *Ipomoea Incarnata*, *Solanum Tuberosum* (Papa), *Hylocereus cf. Trigonus* (Flor de Caliz), *Opuntia Cochenillifera* (Nopal Chamacuero), *Musa Paradisiaca* (Platano), *Poliacrilamida catiónica*.
- **Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):** Para este parámetro las especies que presentaron un mayor porcentaje de eficiencia fueron: *Musa Paradisiaca* (Plátano), *Citrus Limonum* (Limón) y *Pinus* (Pino).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Para este parámetro las especies y polímeros que presentaron un mayor porcentaje de eficiencia fueron: *Guazuma ulmifolia* (Guásimo), *Pinus* (Pino) y el Quitosano.
- **Oxígeno Disuelto (OD):** Para este parámetro las especies y polímeros que presentaron un mejor desempeño fueron: *Moringa Oleífera* (Moringa) y *Musa Paradisiaca* (Plátano).

- **Conductividad eléctrica:** Ninguna especie presentó un valor óptimo de desempeño para el control de este parámetro.
- **Alcalinidad:** Para este parámetro el único compuesto que presentó un buen desempeño fue el Quitosano.
- **Color:** Para este parámetro las especies que presentaron un mayor porcentaje de remoción fueron: *Citrus Sinensis* (Naranja), *Cyamopsis tetragonolobus* (Guar), *Pinus* (Pino), *Jatropha Curcas* (Jatrofa), *Strychnos Potatorum* (Therran).
- **Dureza:** Para este parámetro las especies que presentaron un mejor desempeño fueron: *Citrus Limonum* (Limón) y *Musa Paradisiaca* (Plátano).

Tabla 16. Matriz de potencial según criterio técnico-cualitativo para el tratamiento de aguas. (Autores, 2020)

Especie	T	DBO	DQO	O.D	AC	C	Dr	Total
<i>Astragalus gossypinum</i>								1
<i>Trigonella foenum-graecum</i>								1
<i>Cyamopsis tetragonolobus</i>								2
<i>Phaseolus vulgaris</i>								1
<i>Moringa oleifera</i>								2
<i>Guazuma ulmifolia</i>								2
<i>Jatropha Curcas</i>								2
<i>Ipomoea incarnata</i>								1
<i>Solanum tuberosum</i>								1
<i>Hylocereus cf. trigonus</i>								1
<i>Opuntia cochenillifera</i>								1
<i>Musa paradisiaca</i>								4
<i>Poliacrilamida catiónica</i>								1
<i>Citrus limonum</i>								2
<i>Pinus gerardiana</i>								3
<i>Quitosano</i>								2
<i>Citrus sinensis</i>								1
<i>Strychnos potatorum</i>								1

Algo interesante que se pudo observar en la tabla 16 es que las 2 especies que presentaron mejor desempeño a nivel Técnico-Cualitativo son las especies: *Musa Paradisiaca* y *Pinus Gerardiana*; las otras 16 especies solo lograron destacarse en 1 o 2 parámetros. Hay que tener en cuenta que la anterior tabla muestra el potencial de cada especie a partir del análisis de los mejores resultados obtenidos en cada parámetro, y no un análisis general que integre el total de la información en relación a los resultados obtenidos como si se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. Subtotales por especie de la Dimensión Técnico-Cualitativa (Autores, 2020)

ESPECIE	SUBTOTAL TÉCNICO-CUALITATIVO	ESPECIE	SUBTOTAL TÉCNICO-CUALITATIVO
<i>Astragalus gossypinum</i>	20,0	<i>Musa paradisiaca</i>	25,2
<i>Caesalpinia spinosa</i>	19,6	<i>Persea americana</i>	21,0
<i>Cassia grandis</i>	26,5	<i>Poloacrilamida cationica</i>	20,0
<i>Tamarindus indica</i>	21,0	<i>Quitosano</i>	31,7
<i>Trigonella foenum-graecum</i>	24,0	<i>Pinus gerardiana</i>	35,5
<i>Cassia fistula</i>	28,3	<i>Strychnos potatorum</i>	27,1
<i>Cyamopsis tetragonolobus</i>	35,0	<i>Zea mays</i>	22
<i>Phaseolus vulgaris</i>	20,0	<i>Solanum tuberosum</i>	25,8
<i>Moringa oleifera</i>	26,6	<i>Agave americano</i>	18,7
<i>Azadirachta indica</i>	24,3	<i>Citrus sinensis</i>	35,0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	33,3	<i>Cirtus microcarpa</i>	16,0
<i>Manihot esculenta</i>	24,0	<i>Citrus aurantigolia</i>	16,0
<i>Jatropha curcas</i>	35,0	<i>Citrus paradisi</i>	20,0
<i>Ipomoea incarnata</i>	20,0	<i>Citrus limonum</i>	41,0
<i>Café</i>	20,5	<i>Mangifera indica</i>	21,7
<i>Hylocereus cf. trigonus</i>	20,0	<i>Opuntia cochinellifera</i>	34,0
<i>Opuntia ficus indica</i>	23,3	<i>Lemaireoreus griseus</i>	32,0

Al contrastar la tabla 16 y 17 podemos observar la especie *Pinus Gerardiana* presenta un alta calificación en ambos casos, mientras que la *Musa Paradisiaca* la cual fue la mejor calificada en el Tabla 16 presenta un resultado menos favorable en la Tabla 17, lo que nos indica que no existe una correlación entre ambos tipos de evaluación con respecto a la dimensión Técnico-Cualitativa.

En la tabla 17 se pudo observar que las especies que presentaron mejor valoración fueron: *Cyamopsis tetragonolobus*, *Guazuma ulmifolia*, *Jatropha Curcas*, *Pinus Gerardiana*, *Citrus Sinensis*, *Citrus Limonum* y *Opuntia Cochinellifera*. Se identificaron las siguientes razones por las cuales se presentaron discrepancias entre ambos análisis:

- La Tabla 16 presenta un análisis selectivo de los mejores resultados por parámetro de cada especie con el objetivo de determinar su potencial, mientras que la Tabla 17 presenta un análisis conjunto entre los resultados y la cantidad de información dada en los documentos.

- Algunas especies con desempeño regular en la Tabla 17 presentan documentos con buena calificación y otros con mala calificación, lo que al promediar da un valor intermedio.
- Las especies con mejor desempeño en la tabla 17 muestran una cantidad baja de documentos (Máximo 3) con buena calificación. Al presentar pocos estudios se pueden generar resultados sesgados en comparación con aquellas especies que presentaron mayor cantidad de estudios.
- Algunos estudios con mayor cantidad de parámetros evaluados, presentando un rendimiento regular en la mayoría de ellos, al realizar la sumatoria muestran un desempeño aparentemente mejor que otros estudios con menor cantidad de parámetros evaluados, pero con mayor rendimiento.

Tabla 18. Comparativa Subtotales Técnico-Cualitativo y Técnico-Ambiental. (Autores, 2020)

ESPECIE	SUBTOTAL TÉCNICO-CUALITATIVO	SUBTOTAL TÉCNICO-AMBIENTAL	ESPECIE	SUBTOTAL TÉCNICO-CUALITATIVO	SUBTOTAL TÉCNICO-AMBIENTAL
<i>Astragalus gossypinum</i>	20,0	10	<i>Musa paradisiaca</i>	25,2	25
<i>Caesalpinia spinosa</i>	19,6	23	<i>Persea americana</i>	21,0	30
<i>Cassia grandis</i>	26,5	30	<i>Poloacrilamida cationica/anionica</i>	20,0	30
<i>Tamarindus indica</i>	21,0	27,1	<i>Quitosano</i>	31,7	30
<i>Trigonella foenum-graecum</i>	24,0	26,3	<i>Pinus gerardiana</i>	35,5	30
<i>Cassia fistula</i>	28,3	26,7	<i>Strychnos potatorum</i>	27,1	30
<i>Cyamopsis tetragonolobus</i>	35,0	30	<i>Zea mays</i>	22	30
<i>Phaseolus vulgaris</i>	20,0	30	<i>Solanum tuberosum</i>	25,8	27,5
<i>Moringa oleifera</i>	26,6	27,7	<i>Agave americano</i>	18,7	30
<i>Azadirachta indica</i>	24,3	28,8	<i>Citrus sinensis</i>	35,0	10
<i>Guazuma ulmifolia</i>	33,3	30	<i>Cirtus microcarpa</i>	16,0	25
<i>Manihot esculenta</i>	24,0	22	<i>Citrus aurantifolia</i>	16,0	30
<i>Jatropha Curcas</i>	35,0	10	<i>Citrus paradisi</i>	20,0	30
<i>Ipomoea Incarnata</i>	20,0	30	<i>Citrus limonum</i>	41,0	20
<i>Café</i>	20,5	30	<i>Mangifera indica</i>	21,7	28,6
<i>Hylocereus cf. trigonus</i>	20,0	30	<i>Opuntia cochinellifera</i>	34,0	30
<i>Opuntia Ficus indica</i>	23,3	27,1	<i>Lemaireoreus griseus</i>	32,0	30

En la tabla anterior se presentan los resultados obtenidos de las dimensiones con mayor relevancia dentro del método de evaluación (Técnico-Cualitativa y Técnico-Ambiental), con el propósito de identificar algún tipo de correlación entre estas. A partir de la Tabla 18, se pudo realizar el siguiente análisis:

- La mayoría de especies presentan óptimos resultados dentro de la dimensión Técnico-Ambiental, teniendo en cuenta que esta valora el porcentaje en que la especie en cuestión fue aplicada y si a su vez fue combinada con algún químico, se pudo determinar cómo aspecto positivo que dentro de los estudios recopilados por lo general se optó por sustituir en mayor porcentaje el uso de coagulantes químicos por extractos de especies naturales.
- No existe algún tipo de correlación entre los resultados de las dos dimensiones, puesto que no se identifica un patrón entre la proporción de los extractos naturales utilizados para la obtención del coagulante/floculante y su eficacia dentro de los parámetros Técnico-Cualitativos.
- Tomando en cuenta aquellas especies que se destacaron en los anteriores análisis, se decide describirlas de manera puntual: El *Pinus Gerardiana* y la *Musa Paradisiaca* presentaron un buen desempeño en los análisis técnico-cualitativos (Tabla 16 y 17) y el técnico-ambiental (Tabla 18). Mientras que las especies *Guazuma ulmifolia*, *Cyamopsis tetragonolobus* y *Opuntia Cochinellifera* presentaron un óptimo desempeño únicamente en los aspectos evaluados dentro de la Tabla 17. Por último, las especies *Jatropha Curcas* y *Citrus Sinensis* solo presentaron resultados favorables para el análisis Técnico-Cualitativo.

Una vez realizado el análisis comparativo entre las dimensiones con mayor influencia dentro del método de evaluación, se llevó a cabo un análisis comparativo que tuviera en cuenta todas las dimensiones propuestas dentro del método de evaluación, para ello se tomó el subtotal por cada dimensión junto con el resultado final del método de evaluación y lograr hacer un contraste de los resultados obtenidos, además de incluir la cantidad de archivos que fueron evaluados por especie.

Tabla 19. Resultados por dimensiones y total del método de evaluación para la selección de especies con mayor potencial como coagulantes/floculantes en el tratamiento de aguas. (Autores, 2020)

ESPECIE/POLIMEROS	T-CL	T-CN	T-A	S-A	S-E	E	TOTAL	Nº ARCHIVOS
<i>Astragalus Gossypinum</i>	20,0	30	10	5	0	0	65	1
<i>Caesalpinia spinosa</i>	19,6	26	23	5	0	0	73,6	5
<i>Cassia Grandis</i>	26,5	24	30	5	0	0	85,5	2
<i>Tamarindus indica</i>	21,0	28	27,1	5	0,7	0	81,9	7
<i>Trigonella foenum-graecum</i>	24,0	33	26,3	5	0	0	88,3	4
<i>Cassia Fistula</i>	28,3	33,7	26,7	5	2,5	0,8	97	6
<i>Cyamopsis tetragonolobus</i>	35,0	30	30	5	5	0	105	1
<i>Phaseolus vulgaris</i>	20,0	24	30	5	0	0	79	1
<i>Moringa Oleifera</i>	26,6	33,3	27,7	5	3,5	1,5	97,6	24
<i>Azadirachta indica</i>	24,3	26,3	28,8	5	3,1	0	87,4	8
<i>Guazuma ulmifolia</i>	33,3	34	30	5	1,7	0	104	3
<i>Manihot esculenta</i>	24,0	32,4	22	5	4	1	88,4	5
<i>Jatropha Curcas</i>	35,0	34	10	5	5	5	94	1
<i>Ipomoea Incarnata</i>	20,0	34	30	5	5	0	94	2
<i>Coffea arabica</i>	20,5	32	30	5	2,5	2,5	92,5	2
<i>Hylocereus cf. Trigonus</i>	20,0	30	30	5	5	0	90	1
<i>Opuntia Ficus indica</i>	23,3	28,3	27,1	5	2,9	0,7	87,3	7
<i>Lemaireoreus griseus</i>	32,0	36	30	5	5	0	108	1
<i>Opuntia Cochinellifera</i>	34,0	28	30	5	5	0	102	1
<i>Musa Paradisiaca</i>	25,2	29,2	25	5	4,2	2,1	90,6	12
<i>Persea Americana</i>	21,0	22	30	5	2,5	0	80,5	2
<i>Poloacrilamida cationica/anionica</i>	20,0	30	30	5	5	0	90	1
<i>Quitosano</i>	31,7	31,1	30	5	2,9	0	100,7	7
<i>Pinus Gerardiana</i>	35,5	30	30	5	2,5	0	103	2
<i>Strychnos Potatorum</i>	27,1	29,6	30	5	3,3	0,6	95,6	9
<i>Zea mays</i>	22	26,9	30	5	2,8	1,1	87,8	9
<i>Solanum Tuberosum</i>	25,8	26,3	27,5	5	3,3	2,5	90,5	6
<i>Agave americano</i>	18,7	36,7	30	5	5	1,7	97	3
<i>Citrus Sinensis</i>	35,0	36	10	5	0	0	86	1
<i>Cirtus Aurantigolia</i>	16,0	30	30	5	5	0	86	1
<i>Citrus Microcarpa</i>	16,0	30	25	5	5	0	81	2
<i>Citrus Paradisi</i>	20,0	30	30	5	5	0	90	1
<i>Citrus Limonum</i>	41,0	16	20	5	5	5	92	1
<i>Mangifera indica</i>	21,7	32	28,6	5	4,3	2,1	93,7	7

T-CL (Técnico cualitativo), T-CN (Técnico cuantitativo), T-A (Técnico ambiental), S-A (Socio ambiental), S-E (Socio económico), E (Económico)

A continuación se presenta los rangos con la calificación correspondiente al método de evaluación total.

Tabla 20. Clasificación de resultados totales del método de evaluación (Autores, 2020)

Calificación	Rango	Nº de especies
Regular	65-79	3
Bueno	80-93	19
Muy bueno	94-108	12

En la Tabla 19 fue posible identificar que 12 de las 34 especies/polímeros evaluados, obtuvieron el rango más alto en la calificación total, lo que indica que estas especies aparentemente presentan un mejor paquete tecnológico en comparación con las otras especies. Sin embargo, para un resultado mejor fundamentado, se incorporaron los análisis previos de las especies junto con la cantidad de estudios realizados para cada una. Se tomaron las especies/polímeros que obtuvieron la mejor calificación dentro del resultado final y se examinaron de manera puntual con respecto a los análisis previos:

- ***Cassia fistula***: Esta especie presenta una buena cantidad de estudios realizados, en los cuales presenta un número considerable de parámetros evaluados, es decir que su investigación ha sido desarrollada de manera más completa; a su vez presentó un buen desempeño dentro de la dimensión Técnico-Ambiental. Sin embargo, desde la dimensión Técnico-cualitativa su desempeño es regular, ya que no presenta ningún parámetro en el cual demuestre una alta eficacia.
- ***Cyamopsis tetragonolobus***: La especie presenta un excelente desempeño dentro de todo el criterio técnico; posee dos parámetros Técnico-cualitativos (Turbidez y Color) en los cuales se destaca, sin embargo, solo se obtuvo un estudio acerca de esta especie, lo que aumenta su margen de error al momento de intentar incorporarla como coagulante/floculante, es necesario realizar más investigaciones para obtener resultados más confiables.
- ***Moringa oleifera***: Para esta especie se resalta que presentó el mayor número de estudios (24) realizados, lo que minimiza el margen de error convirtiéndose en una de las especies más confiables para su implementación. También presentó un excelente desempeño dentro de todo el criterio técnico, donde se destaca en dos parámetros (Turbiedad y Oxígeno disuelto).

- ***Guazuma ulmifolia***: La especie presenta un excelente desempeño dentro de todo el criterio técnico; posee dos parámetros Técnico-cualitativos (Turbidez y DQO) en los cuales se destaca, sin embargo, solo se obtuvo tres (3) estudios acerca de esta especie, lo que no representa un margen de error elevado, pero aun así se deben aumentar los estudios para la especie antes de implementarla como coagulante/floculante para obtener resultados más confiables.
- ***Jatropha Curcas***: A pesar de que la especie presenta un excelente desempeño en la dimensión Técnico-cualitativa en donde dos de sus parámetros (Turbiedad y color) se destacan por su alto rendimiento, se obtuvo la calificación mínima para la dimensión Técnico-ambiental, debido a que se usó en mayor proporción el coagulante químico y esto tiene una influencia directa sobre el desempeño en la dimensión Técnico-cualitativa. Adicional a ello, solo presenta un estudio realizado, esto indica que tiene un margen de error elevado que dificulta la implementación de la especie, por lo cual requiere de una mayor investigación.
- ***Ipomoea Incarnata***: Aun cuando esta especie no obtuvo un buen desempeño dentro de la dimensión Técnico-cualitativa, se destaca el parámetro de Turbiedad en donde logra un excelente rendimiento, además presenta una alta calificación en la dimensión Técnico-Ambiental, sin embargo, solo se logró recopilar dos archivos para su evaluación, aun cuando estos archivos presentan gran cantidad de información, se debe tener una mayor investigación de la especie para su implementación.
- ***Lemaireocereus griseus***: Esta especie no presenta parámetro alguno en el cual se destaque en la dimensión Técnico-cualitativa, aun así logra tener un alto rendimiento dentro de esta, como resultado de tener un mayor número de parámetros evaluados con un resultado medianamente bueno, además obtuvo la máxima calificación dentro de la dimensión Técnico-ambiental, sin embargo, solo presenta un estudio por lo que debe aumentarse el nivel investigación para la especie en cuestión. La especie presenta el resultado total más alto dentro del método de evaluación presentado en la Tabla 19 sin tener en cuenta aspectos como cantidad de información o parámetros destacados.
- ***Opuntia Cochinelifera***: La especie presenta un excelente desempeño dentro de todo el criterio técnico; posee un parámetro técnicocualitativo (Turbidez) en el cual se destaca, sin embargo, solo se obtuvo un estudio acerca de esta especie, lo que aumenta su margen de error al momento de intentar incorporarla como coagulante/floculante, es necesario realizar más investigaciones para obtener resultados más confiables.
- ***Quitosano***: Este polímero orgánico es uno de los que presenta mayor cantidad de estudios (7), los cuales abarcan una gran cantidad de parámetros y proveen de

información completa que permite minimizar el margen de error en su implementación. Adicional a ello, presenta un excelente desempeño en la dimensión Técnico-cualitativo en donde se destaca los parámetros de DQO y alcalinidad, por último, este polímero obtuvo la máxima calificación dentro del análisis técnico-ambiental.

- ***Pinus Gerardiana***: La especie presenta un excelente desempeño dentro de todo el criterio técnico; es de las especies que tiene más parámetros Técnico-cualitativos destacados siendo estos DBO, DQO, y color, sin embargo, solo se obtuvo dos (2) estudios acerca de esta especie, por lo cual resulta conveniente aumentar los estudios para la especie antes de implementarla como coagulante/floculante.
- ***Strychnos Potatorum***: Esta especie presenta un excelente desempeño en dos dimensiones dentro del criterio técnico; es necesario tener en cuenta que aun cuando su resultado en la dimensión Técnico-cualitativa no fue el mejor, logro obtener un parámetro destacable (color); además presenta una considerable cantidad de estudios realizados por lo cual sus resultados son más confiables.
- ***Agave americano***: Para este caso en particular se observa que la especie presento de los rendimientos más bajos en la dimensión Técnico-cualitativa, pero a su vez presento la mayor calificación dentro de la dimensión Técnico-cuantitativa, ya que dentro de los estudios recopilados se evaluaron una gran cantidad de parámetros pero ninguno de estos presento resultados óptimos. Tiene un excelente desempeño en el aspecto técnico-ambiental y presenta una cantidad de información favorable, aun así se debe investigar con mayor profundidad para su implementación.
- ***Musa paradisiaca***: Esta especie aun cuando no hace parte de las que fueron clasificadas con mejor paquete tecnológico a partir del método de evaluación, fue la que obtuvo la mayor cantidad de parámetros técnico-cualitativos destacados (Turbiedad, DBO, Oxígeno disuelto y Dureza), también presenta un óptimo desempeño en las dimensiones Técnico-cuantitativa y Técnico-ambiental, mostrando un gran potencial desde el criterio técnico. Un aspecto a resaltar es que es la segunda especie con mayor cantidad de estudios realizados por lo cual junto a la moringa son las que presentan mayor fiabilidad en sus resultados.

A partir de lo anterior, se pudo determinar que las especies/polímeros que presentan una mayor factibilidad para su implementación como coagulantes/floculantes naturales en el tratamiento de aguas son: *Moringa oleifera*, *Guazuma ulmifolia*, Quitosano, *Strychnos Potatorum* y *Musa*

paradisiaca. Las demás especies mencionadas en el anterior análisis tienen un gran potencial en su paquete tecnológico pero deben ser investigadas a mayor profundidad.

10. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron un total de 194 archivos a partir de 18 ecuaciones de búsqueda aplicadas dentro de las bases de datos especializadas (Dialnet, Scopus y Science Direct), de los cuales se descartaron un total de 84 archivos ya que no cumplían con aspectos como la aplicación de la investigación, información de interés clara y coherente y/o presentación del documento, de acuerdo a los objetivos planteados.
- Dentro del desarrollo del método de evaluación se determinó que la matriz binaria es una herramienta útil para la identificación de aquellos parámetros físicoquímicas que representan una mayor relevancia para el diseño del método de valoración en base a los archivos recopilados; adicional a ello, se encontró que dichos parámetros deben manejarse en las mismas unidades para poder ser analizadas de manera conjunta, las cuales fueron agrupadas en la dimensión técnico-cualitativa (8 parámetros) y aquellas que no presentaban unidades homogéneas se ubicaron en la técnico-cuantitativa (28 parámetros).
- Se estableció que el criterio técnico es el pilar del método de evaluación diseñado, ya que permite evaluar la eficacia de los extractos de las especies naturales evaluadas como coagulantes/floculantes en el tratamiento de aguas, de manera practica en comparación a los demás criterios evaluados. Las dimensiones que subdividen el criterio técnico son Técnico-cualitativa, Técnico-cuantitativa y Técnico-ambiental. Las otras dimensiones planteadas aportan la información que permiten determinar la viabilidad de las especies en cuanto a la aplicación y su implementación en otros estudios y a nivel industrial.
- Se pudo determinar que las especies/polímeros que presentan una mayor factibilidad para su implementación como coagulantes/floculantes naturales en el tratamiento de aguas son: *Moringa oleifera*, *Guazuma ulmifolia*, Quitosano, *Strychnos Potatorum* y *Musa paradisiaca*. Las demás especies evaluadas en el presente estudio tienen un gran potencial en su paquete tecnológico pero requieren ser investigadas a mayor profundidad para su implementación.
- El método de evaluación propuesto es una herramienta que permite identificar aquellas especies con sus respectivos potenciales en su aplicación como coagulantes/floculantes naturales para el tratamiento de aguas, lo cual puede servir como guía para enfocar futuros estudios de acuerdo a los objetivos planteados por los mismos, con el fin de que el desarrollo de estos estudios se realice de una manera más eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia para sustancias toxicas y el registro de enfermedades. (1999). Resumen de Salud Pública Cadmio Resumen de Salud Pública Cadmio. *Medicina*, 10.

- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- Cortolima. (2003). *Calidad de Aguas*. 6–8. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Espigares, M., & Pérez, J. (2009). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas residuales*. 22. Retrieved from http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- IDEAM. (2018). Con el Apoyo de: *Cartilla ENA 2018*, 56.
- Isabel, M., & Gutiérrez, O. (2013). *Sistema de tratamientos de aguas residuales en Colombia*. 82.
- Juárez, G. J. A. (2011). La administración del agua y el desarrollo sustentable en México : Una visión prospectiva La administración del agua y el desarrollo sustentable en México : Una visión prospectiva. *Fca-Unam*, 18. Retrieved from <http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xvi/docs/10H.pdf>
- Loaiza Cerón, W., Reyes Trujillo, A., & Carvajal Escobar, Y. (2012). Application of a Sustainability Index of Water Resources in Agriculture (ISRHA), to define sustainable technological strategies in the Centella watershed. *Ingeniería y Desarrollo*, 30(2), 160–181. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612012000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- López León, S., Matias Cervantes, C., & Matías-Pérez, D. (2017). Vegetable coagulants as alternative for treatment of wastewater in Mexico. *Journal of Negative and No Positive Results: JONNPR*, 2(12), 687–694. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.1650>
- Mallevalle, J., Bruchet, A., & Fiessinger, F. (1984). How safe are organic polymers in water treatment? *Journal / American Water Works Association*, 76(6), 87–93. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1984.tb05354.x>
- Mihelcic, James y Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería ambiental Fundamentos, sustentabilidad, di*.
- Ministerio de Vivienda. (2017). Saneamiento y Manejo de vertimientos. Retrieved from <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/programas/saneamiento-y-manejo-de-vertimientos>
- Olson, M. E., & Fahey, J. W. (2011). Moringa oleifera: Un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1071–1082. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.678>
- ONU. (2015). Objetivo 6. Agua Limpia Y Saneamiento: Por Que Es Importantes. *United Nations*, 1–2. Retrieved from https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Patel, H., & Vashi, R. T. (2015). Characterization and column adsorptive treatment for cod and color removal using activated neem leaf powder from textile wastewater. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9(1), 45–53. <https://doi.org/10.4090/juee.2015.v9n1.045053>
- Peru, jardín B. de. (2020). *UNMSM / LIMA - PERÚ*. 6–8.
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'Neill, J. G., & Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34(13–16), 799–805. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.07.001>

- Quiroga-Almaguera, A., Rodríguez-Badilloa, H., Rangel-Riveraa, P., & Rangel-Porrassa, G. (2012). *Polímeros Inorgánicos Como Coagulantes En El Tratamiento De Aguas Residuales*. 1–5.
- Šćiban, M., Klačnja, M., Antov, M., & Škrbić, B. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, *100*(24), 6639–6643. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.06.047>
- SDA, & Alcaldía de Bogotá. (2012). *El sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos*.
- Tous Herazo, G., Castro Mercado, I. F., Cañón Páez, M. L., Quintana Saavedra, D. M., & Torres Parra, R. R. (2007). Panorama de la contaminación del Caribe colombiano. *Panorama de La Contaminación Del Caribe Colombiano*. <https://doi.org/10.26640/9589851104.2007>
- UCLM. (2006). *Tema 5. Coagulación-Floculación*. Retrieved from http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf
- Yang Yin, C. (2010). *water and wastewater treatment . Process Biochemistry , Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment*. *45*, 1437–1444.
- Yaniris, A. (2006). ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Retrieved March 28, 2019, from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>
- . R. K. J. (2015). a Treatment of Domestic Sewage and Generation of Bio Sludge Using Natural Coagulants. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, *04*(07), 152–156. <https://doi.org/10.15623/ijret.2015.0407023>
- Adeniran, K. A., & Dunmoye, I. D. (2018). Relative Coagulation Potentials of Aluminum Sulphate and Mangifera indica Seeds in Purifying Domestic Waste Water. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, *13*(2), 26–38. <https://doi.org/10.3126/kuset.v13i2.21281>
- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cruz, R. K. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información Tecnológica*, *29*(3), 59–70. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000300059>
- Ali, M., Mustafa, A., & Saleem, M. (2019). Comparative Study between Indigenous Natural Coagulants and Alum for Microalgae Harvesting. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *44*(7), 6453–6463. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3681-5>
- Alves, G., Almeida, J., Rodrigues, N., Larrubia, D., de Marins, H., Barros, I., Ribeiro, C., Araújo, G. (2020). Brazilian Journal of Development. *J. of Develop*, *6*(1), 4303–4308. Retrieved from <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/59/0>
- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, *262*, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- ARIAS HOYOS, A., HERNÁNDEZ MEDINA, J. L., CASTRO VALENCIA, A. F., & SÁNCHEZ PEÑA, N. E. (2017). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA CENTRAL DE SACRIFICIO: USO DEL POLVO DE LA SEMILLA DE LA M. oleífera COMO COAGULANTE NATURAL. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y*

- Agroindustrial, Edición Es(1)*, 29. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\)29-39](https://doi.org/10.18684/bsaa(15)29-39)
- Ayala R., A. (2018). Facultad de Ingeniería Facultad de Ingeniería. *Ucv*, 0–116.
- Barreto, S., Vargas, D., Ruiz, L., & Gomez, S. (2020). Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas. *Revista de Investigacion Agraria y Ambiental*, 11(1), 105–116.
- Berman, wilmor coleman et al lopez. (2012). Universidad Nacional Agraria Universidad Nacional Agraria. *Tesis*, 59. Retrieved from <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8048>
- Buenaño Bautista, B. B., Rafael Vera Calle, E., & Aldás Sandoval, M. B. (2019). Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment. *Ingenieria e Investigacion*, 39(1), 24–35. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n1.69703>
- Bui, H. M., Perng, Y. S., & Duong, H. G. T. (2016). The use of artificial neural network for modeling coagulation of reactive dye wastewater using *Cassia fistula* Linn. gum. *Journal of Environmental Science and Management*, 19(1), 1–8.
- Cabrera Martínez, N. C., Hernández Julio, A. R., Simancas Vásquez, E. del P., Ayala Jiménez, J. M., & Almanza Caraballo, K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et Technica*, 22(1), 109. <https://doi.org/10.22517/23447214.13281>
- Cabrera, N., Simancas, E., & Hernández, A. (2018). Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Prospectiva*, 16(2), 94–99.
- CAMACHO, O. E. al. (2020). Use of potato peels (*Solanum tuberosum* L) in the clarification of the water of the Ciénaga de Malambo. *Revista Investigación e Innovación En Ingenierías*, 8(1), 100–111.
- Carrasco Guerra, J. A. (2018). Universidad Nacional De San Martín - Tarapoto. *Estrategias de Promoción y Notoriedad de Marca de La Empresa Veronika Solar Catering Company de La Ciudad de Tarapoto Año 2017. Tesis*, (Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Administración), 1–57. Retrieved from [http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION - Pamela Jhosymar Valles Vásquez %26 Martha Ruth Guerra Pinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3024/ADMINISTRACION-PamelaJhosymarVallesVásquez%26MarthaRuthGuerraPinedo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Carrasquero-Ferrer, S. J., González-Sahinian, Y. G., Colina-Andrade, G., & Díaz-Montiel, A. R. (2019). Eficiencia del quitosano como coagulante en el postratamiento de efluentes de una planta de sacrificio de cerdos. *Orinoquia*, 23(2), 36–46. <https://doi.org/10.22579/20112629.567>
- Carrasquero, S. J., Montiel Flores, S., Faría Perche, E. D., Parra Ferrer, P. M., Marin Leal, J. C., & Díaz Montiel, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Solanum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), 90–99. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>

- Cendales, W., & Cañón, O. (2016). *Evaluación De La Eficiencia Del Mucílago Del Café Como Coagulante Frente Al Cloruro Férrico En Los Procesos De Remoción De Sólidos Suspendidos En El Agua*. 75. Retrieved from http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20460/41081005_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chitra, D., & Muruganandam, L. (2019). Performance of Natural Coagulants on Greywater Treatment. *Recent Innovations in Chemical Engineering (Formerly Recent Patents on Chemical Engineering)*, 13(1), 81–92. <https://doi.org/10.2174/2405520412666190911142553>
- Choy, S. Y., Prasad, K. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2016). Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal. *Ecological Engineering*, 94, 352–364. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.082>
- Daverey, A., Tiwari, N., & Dutta, K. (2019). Utilization of extracts of *Musa paradisiaca* (banana) peels and *Dolichos lablab* (Indian bean) seeds as low-cost natural coagulants for turbidity removal from water. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 34177–34183. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3850-9>
- Dávila Paredes, C. M., Huamán Carranza, M. M., Flores Albornoz, J. I., Polo Salazar, R. A., & Araujo Jamanca, N. F. (2019). Efectividad de especies naturales como ayudantes de Coagulación, para la clarificación de aguas turbias en épocas de avenidas en caseríos y centros poblados de Huaraz y Callejón de Huaylas. *Aporte Santiaguino*, 11(2), 299. <https://doi.org/10.32911/as.2018.v11.n2.583>
- Dearmas Duarte, D., & Ramírez Hernández, L. F. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 183. <https://doi.org/10.22490/21456453.1415>
- Dollah, Z., Abdullah, A. R. C., Hashim, N. M., Albar, A., Badrealam, S., & Mohd Zaki, Z. Z. (2019). Citrus fruit peel waste as a source of natural coagulant for water turbidity removal. *Journal of Physics: Conference Series*, 1349(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012011>
- Dollah, Z., Sahat, N. A., Hamzah, N., Musir, A. A., & Ramli, R. (2020). Citrus aurantiifolia and citrus microcarpa fruit peels waste as eco-friendly natural coagulants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012089>
- ELsayed, E. M., Nour El-Den, A. A., Elkady, M. F., & Zaatout, A. A. (2020). Comparison of coagulation performance using natural coagulants against traditional ones. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 00(00), 1–9. <https://doi.org/10.1080/01496395.2020.1795674>
- Faizi, M. F. (2018). *EVALUACIÓN DE LAS SEMILLAS DE TAMARINDO (Tamarindus indica) EN LA REMOCIÓN DE TURBIDEZ DE AGUAS SUPERFICIALES. III*, 224–234.

- Fatriani, M. D. (2015). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Keefektifan Penerapan Pendekatan Keterampilan Proses Dalam Pembelajaran IPA Terhadap Minat Belajar Siswa Kelas IV SD Negeri Golo Yogyakarta*, 16(2), 39–55. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2013.0625>
- Feria-Díaz, J. J., Rodiño-Arguello, J. P., & Gutiérrez-Ribon, G. E. (2016). Behavior of turbidity, pH, alkalinity and color in Sinú River raw water treated by natural coagulants. *Revista Facultad de Ingenieria*, 2016(78), 119–128. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n78a16>
- Fu, Y., Meng, X. J., Lu, N. N., Jian, H. L., & Di, Y. (2019). Characteristics changes in banana peel coagulant during storage process. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(12), 7747–7756. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-02188-0>
- Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41–54. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>
- Gandiwa, B. I., Moyo, L. B., Ncube, S., Mamvura, T. A., Mguni, L. L., & Hlabangana, N. (2020). Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering*, 34, 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>
- Gautam, S., Arora, A. S., Singh, A. K., Ekka, P., Daniel, H., Gokul, B., ... Lyngdoh, J. F. (2020). Coagulation influencing parameters investigation on textile industry discharge using Strychnos potatorum seed powders. *Environment, Development and Sustainability*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00836-5>
- Guardián, R., & Coto, J. (2010). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (Tamarindus indica) en la coagulación floculación de aguas residuales. *Tecnología En Marcha*, 24, 18–26.
- Guzmán C., L. E., Taron D, A. A., & Nuñez M., 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. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)123-129](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)123-129)
- Herrera, M. *. (2015). @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. (2), 123–135.
- Hussain, S., Ghouri, A. S., & Ahmad, A. (2019). Erratum to “Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water” [Heliyon 5 (3) (March 2019) e01420](S2405844018367690)(10.1016/j.heliyon.2019.e01420). *Heliyon*, 5(4), e01500. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01500>
- J, S., D, P., A, S., G, S., & K, S. (2017). Wastewater Treatment using Natural Coagulants. *International Journal of Civil Engineering*, 4(3), 40–42.

<https://doi.org/10.14445/23488352/ijce-v4i3p109>

- Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Hayder, G., Latiff, A. A. A., Aziz, N. A. A., Umaru, I., ... Nasara, M. A. (2020). Sustainable use of natural and chemical coagulants for contaminants removal from palm oil mill effluent: A comparative analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 951–960. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.01.018>
- Jairo, J., Díaz, F., Roa, S. B., 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. Retrieved from <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/648>
- Jara Vasquez, S. M. (2018). Uso del coagulante natural extraído de la semilla de tamarindo “Tamarindus indica L.” para reducir solidos coloidales en laboratorio de las aguas del río Lurín, Lima - 2018. *Universidad César Vallejo*.
- João, J. J., & Júnior, W. S. (2019). Utilization of the pinus bark for tannin extraction to apply with as coagulant in the treatment of industrial effluents. *Revista Virtual de Química*, 11(3), 1044–1053. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190070>
- Kashfi, H., Mousavian, S., Seyedsalehi, M., Sharifi, P., Hodaifa, G., Seyed Salehi, A., & Takdastan, A. (2019). Possibility of utilizing natural coagulants (*Trigonella foenum-graecum* and *Astragalus gossypinus*) along with alum for the removal of turbidity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(7), 2905–2914. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1635-1>
- Kebaili, M., Djellali, S., Radjai, M., Drouiche, N., & Lounici, H. (2018). Valorization of orange industry residues to form a natural coagulant and adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 64, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.03.027>
- Kian-hen, C., & Peck-loo, K. (2017). *Akademia Baru Progress in Energy and Environment Potential of Banana Peels as Bio-Flocculant for Water Clarification Akademia Baru*. 1(June), 47–56.
- Kihampa, C., Mwegoha, W. J. S., Kaseva, M. E., & Marobhe, N. (2011). Performance of *Solanum incunum* Linnaeus as natural coagulant and disinfectant for drinking water. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(10), 867–872. Retrieved from <http://www.academicjournals.org/AJEST>
- Kuhiyop, E. A., Adie, D. B., & Abubakar, U. A. (2020). Application of *Mangifera indica* (mango) and *Phoenix dactylifera* (dates) seeds powders as coagulants in wastewater treatment. *Nigerian Journal of Technology*, 39(1), 269–277. <https://doi.org/10.4314/njt.v39i1.30>
- Kumar, M. V., Srivarushan, S., & Gowthami, R. (2018). *Leachate Treatment from Municipal Solid Waste Landfill by Using Natural Coagulant of Zea Mays*. 4(5), 1427–1431. Retrieved from www.ijrst.com
- Lans-Ceballos, E., Marsiglia, M., Lans-Cuesta, G., Guzman, L., & Forero-Doria, O. (2020). Improvement to quality of surface waters from rural communities: vegetable extracts as a

- sustainable and cheap alternative. *Environment, Development and Sustainability*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00663-8>
- Lara, P. A. (2016). *of Metals in Natural Water Used in Dairy Cattle*. (52), 299–304.
- Lugo-Arias, J., Burgos-Vergara, J., Lugo-Arias, E., Gould, A., & Ovallos-Gazabon, D. (2020). Evaluation of low-cost alternatives for water purification in the stilt house villages of Santa Marta's Ciénaga Grande. *Heliyon*, 6(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03062>
- Lugo-Arias, J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabon, D., Arango, J., de la Puente, M., & Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, 6(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>
- Mahmoud, S. S., Hussain, Z. M., O'Shea, P., Schaubach, K. R., Iv, N. J. D., Rappaport, T. S., ... Kunnari, E. (2015). «التواصل» طفرة على تغذية جراثيم..الإلكتروني الابتزاز. *الاجتماعي*No Title. *CNR-ISTI Technical Report*, 3(2), 356–369. Retrieved from https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/METIS_D1.4_v3.pdf%0Ahttps://www.metis2020.com/documents/deliverables/index.html%0Ahttps://www.metis2020.com/metis-deliverables-d1-4-d2-4-d3-3-d4-3-d6-5-and-d7-3-were-completed-in-february-2015/index.html%0Ahttp
- Marcela, I., Méndez, R., Ginoris, Y. P., Celia, C., Brandão, S., & Nascimento, M. F. (2016). R emoção de partículas similares aos oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta ascendente usando um coagulante natural : estudo em escala piloto Removal of *Cryptosporidium* oocyst-like particles by direct upward filtration using a natural coagulant. *Revista de Integración Agraria y Ambiental*, 15–24.
- Martínez-Morris, U. G., Marquina-Gelvez, C. E., Carrasquero-Ferrer, S., Martínez-Soto, M. E., Rodríguez-Monroy, C., & Morris-Díaz, A. T. (2017). El extracto de semillas de mango (*Mangifera indica* L) como coagulante natural en la potabilización de aguas. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2017–July*(July), 19–21. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.227>
- Maurya, S., & Daverey, A. (2018). Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. *3 Biotech*, 8(1). <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1103-8>
- Mejía, P., Collantes, U., Torres, C., & Gonzales, V. (2020). Evaluación de la Moringa oleífera en el tratamiento de aguas con alta turbidez y Carga Orgánica. *Ingeniería Del Agua*, 24(2), 119–127.
- Mera Alegria, C. F., Gutiérrez Salamanca, M. L., Montes Rojas, C., & Paz Concha, J. P. (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. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)100-109](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)100-109)
- Meza, M., Riaños, K., Mercado, I., Olivero, R., & Jurado, 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 Evaluation of the coagulant power of aluminum sulfate and Moringa oleífera seeds in the c. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95–103. Retrieved from <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/download/8084/8178/>
- Molano, J., & Iannacone, J. (2018). *Biotempo (Lima)*. (October).
- Moreno Pérez, S. C. (2016). Disminución de la turbidez del agua del río Crisnejas en la comunidad de Chuquibamba-Cajabamba utilizando *Opuntia ficus indica*, *Aloe vera* y *Caesalpinia spinosa*. *Universidad César Vallejo*.
- Muniz, G. L., Silva, T. C. F. da, & Borges, A. C. (2020). Assessment and optimization of the use of a novel natural coagulant (*Guazuma ulmifolia*) for dairy wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 744, 140864. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140864>
- Muralimohan, D. N., Augustin, S., Meiyazhagan, G., Sethupathi, P., & Ramesh, V. (2017). An Experimental Investigation on Treatment of Tannery Effluent Using *Azadirachta Indica*. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(2), 762–766. <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.2.25>
- Muthuraman, G., & Sasikala, S. (2014). Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1727–1731. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>
- Nakada, L. Y. K., & Moruzzi, R. B. (2015). Corn starch-based treatment improves rainwater quality. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(6), 1326–1333. <https://doi.org/10.2166/ws.2015.097>
- Nguyễn Võ Châu Ngân, Lương Thị Diễm Thúy, & Đào Minh Trung. (2017). Apply cassia fistula seed gum as auxiliary bio-coagulant for fish processing wastewater treatment. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 2(6), 46–51.
- Nirmala Rani, C., & Talikoti, R. (2013). Adsorption isotherm studies of the simultaneous removal of turbidity and hardness by natural coagulants. *Water Practice and Technology*, 8(3–4), 495–502. <https://doi.org/10.2166/wpt.2013.053>
- Nyström, F., Nordqvist, K., Herrmann, I., Hedström, A., & Viklander, M. (2020). Removal of metals and hydrocarbons from stormwater using coagulation and flocculation. *Water Research*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115919>
- Okunlola, M. B., Ijah, U. J. J., Yisa, J., Abioye, P. O., Ariyeloje, D. S., & Ibrahim, J. N. (2020). Purification efficacy of different parts of *Mangifera indica* on water samples from contaminated drinking water sources in chanchaga local government area of Niger State, Nigeria. *Applied Water Science*, 10(4), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01183-6>
- Ortíz, A. V., Tovar, C. T., Toro, R. O., & Aníbal, M. M. (2021). Evaluation of the use of plantain starch as a natural coagulant for the removal of colour and turbidity in water for human consumption Evaluación del uso de almidón de plátano como coagulante natural

- para la remoción de color y turbidez en agua para consu. *Revista EIA*, 17(33), 1–8.
- Pandey, P., Khan, F., Ahmad, V., Singh, A., Shamshad, T., & Mishra, R. (2020). Combined efficacy of *Azadirachta indica* and *Moringa oleifera* leaves extract as a potential coagulant in ground water treatment. *SN Applied Sciences*, 2(7), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3124-2>
- Pandey, P., Khan, F., Mishra, R., & Singh, S. K. (2020). Elucidation of the potential of *Moringa oleifera* leaves extract as a novel alternate to the chemical coagulant in water treatment process. *Water Environment Research*, 92(7), 1051–1056. <https://doi.org/10.1002/wer.1300>
- Políticas, C. (2001). Santiago Antúnez de Mayolo. *Ciencia e Investigación*, 4(1), 78–79.
- Putra, R. S., Amri, R. Y., & Ayu, M. (2020). Turbidity removal of synthetic wastewater using biocoagulants based on protein and tannin. *AIP Conference Proceedings*, 2242(June). <https://doi.org/10.1063/5.0007846>
- Qureshi, K., Bhatti, I., & Shaikh, M. S. (2011). Development Of Bio-Coagulant From Mango Pit for the Purification of Turbid Water. *Sindh University Research Journal (Science Series)*, 43(1), 105–110.
- Ramamurthy, C., Maheswari, M. U., Selvaganabathy, N., Kumar, M. S., Sujatha, V., & Thirunavukkarasu, C. (2012). Evaluation of eco-friendly coagulant from *Trigonella foenum-graecum* seed. *Advances in Biological Chemistry*, 02(01), 58–63. <https://doi.org/10.4236/abc.2012.21007>
- Ramirez, L. (2019). *Evaluación de semillas de tamarindo (Tamarindus indica) como coagulante para disminuir la carga contaminante en el tratamiento de aguas, en relación a un coagulante comercial*. 1–79.
- Ramos Ascue, J. D., & Baldeón Quispe, W. B. Q. (2017). Análisis de riesgos de la seguridad e higiene ocupacional durante el manejo de residuos sólidos y reciclaje de plástico polietileno. *Producción + Limpia*, 12(1), 63–71. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n1a6>
- Ramu, S., Nagaraj, S., & Anusha, G. (2017). Investigation of coagulation activity of lemon and banana peel powder in water treatment. *International Conference on Recent Research Development in Environmet, Social Sciences and Humanities*, (March), 46–49.
- Revelo, A., Proaño, D., & Banchón, C. (2015). Textile wastewater biocoagulation by *Caesalpinia spinosa* extracts. *Enfoque UTE*, 6(1), 1–12. Retrieved from <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/50%0Ahttp://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/download/50/54>
- Riaños-donado, K., Meza-leones, M. C., & Mercado-martínez, I. D. (2019). *Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants Clarificación del agua de un humedal usando una mezcla de coagulantes naturales*. 86(209), 73–78.
- Rodiño-Arguello, J. P., Feria-Díaz, J. J., de Jesús Paternina-Urbe, R., & Marrugo-Negrete, J. L. (2015). Sinú River raw water treatment by natural coagulants. *Revista Facultad de*

Ingenieria, 2015(76), 90–98. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n76a11>

- Rodrigues, I. J., Fuess, L. T., Biondo, L., Santesso, C. A., & Garcia, M. L. (2014). Coagulation-flocculation of anaerobically treated sugarcane stillage. *Desalination and Water Treatment*, 52(22–24), 4111–4121. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.801785>
- Rodriguez Jimenez, D. M., & Gallego Suárez, D. D. 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>
- Rodriguez, M., Ciro, H. J., Salcedo, J., & Serna, T. (2020). Revista Mexicana de Ingeniería Química. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 505–511. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966013>
- S.Kore, P., C.Mugale, V., Kulal, N. S., Thaware, S. P., Vanjuari, A. M., & M.Mane, K. (2017). Textile Waste Water Treatment by using Natural Coagulant (Neem-Azadiracta Indica). *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 45(8), 412–415.
- Sampayo Benavides, C. H., & Feria Diaz, J. J. (2018). Determinación preliminar de productos secundarios de cloración (SPD), en aguas crudas del río Magdalena tratadas con coagulantes naturales y sintéticos. *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Basicas*, 16(2), 37–42. <https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2017.2882>
- Schaeffer, R. (2017). No Title البخاري صحيح (ى، ى، ى).
- Shak, K. P. Y., & Wu, T. Y. (2014). Coagulation-flocculation treatment of high-strength agro-industrial wastewater using natural *Cassia obtusifolia* seed gum: Treatment efficiencies and flocs characterization. *Chemical Engineering Journal*, 256, 293–305. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.093>
- Sierra-Julio, A., Navarro-Silva, A., Mercado-Martínez, I., Flórez-Vergara, A., & urado-Eraso, M. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131–138. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n4-2019012>
- Sinha, S. N., Paul, D., & Biswas, K. (2017). Effects of *Moringa oleifera* Lam. and *Azadirachta indica* A. Juss. leaf extract in treatment of tannery effluent. *Our Nature*, 14(1), 47–53. <https://doi.org/10.3126/on.v14i1.16440>
- Solis Silvan, R., Laines Canepa, J. R., & Hernández Barajas, J. R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 28(3), 229–236.
- Souza Freitas, B. L., & Sabogal-Paz, L. P. (2020). Pretreatment using *Opuntia cochenillifera* followed by household slow sand filters: technological alternatives for supplying isolated communities. In *Environmental Technology (United Kingdom)* (Vol. 41). <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1582700>
- Sriram, A. (2019). Removal of solids from surfactant wastewater through synergetic

- utilization of strychnos potatorum and colocasia esculenta. *Desalination and Water Treatment*, 156(April 2018), 357–369. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24142>
- Sui Kim, I. T., Sethu, V., Arumugasamy, S. K., & Selvarajoo, A. (2020). Fenugreek seeds and okra for the treatment of palm oil mill effluent (POME) – Characterization studies and modeling with backpropagation feedforward neural network (BFNN). *Journal of Water Process Engineering*, 37(July), 101500. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101500>
- Taiwo, A. S., Adenike, K., & Aderonke, O. (2020). Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. *Heliyon*, 6(1), e03335. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335>
- 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>
- Terrones, A. (2019). *Dosis óptima de la goma Caesalpinia spinosa para la mejora de la calidad del agua del Río Chancay – Lambayeque*.
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista Ion*, 27(1), 17–34.
- Uthman, H., & Nyakuma, B. (2018). *COMPARATIVE STUDY OF MORINGA OLEIFERA AND CITRUS PARADISI AS DISINFECTANTS AND COAGULANTS FOR WATER oleifera Powder using Solvent Extraction Method*. 12(4), 492–499.
- Valeriano-Mamani, J. J., & Matos-Chamorro, R. A. (2019). Influencia de la Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como Ayudante en el Proceso de Coagulación-Floculación para la Remoción de Turbidez de una Suspensión Artificial de Bentonita. *Información Tecnológica*, 30(5), 299–308. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500299>
- Varkey, A. J. (2020). Purification of river water using *Moringa Oleifera* seed and copper for point-of-use household application. *Scientific African*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00364>
- Vijayaraghavan, G., Rajasekaran, R., & Shantha Kumar, S. (2013). Removal of reactive yellow dye using natural coagulants in synthetic textile waste water. *International Journal of Chemical Sciences*, 11(4), 1824–1830.
- Vishali, S., Gayathri, H., Malhotra, R., & Mahapatra, A. (2019). Studies on kinetics and settling behavior of flocs formed using a sustainable coagulant in sewage water treatment. *Desalination and Water Treatment*, 169, 72–81. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24700>
- Vishali, S., & Karthikeyan, R. (2014). A Comparative Study of *Strychnos potatorum* and Chemical Coagulants in the Treatment of Paint and Industrial Effluents: An Alternate Solution. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 49(16), 2510–2517. <https://doi.org/10.1080/01496395.2014.931098>

Yoselin, T., Suazo, Á., Alan, F., & Aguilar, D. (2017). Uso de la semilla de tamarindo (*tamarindus indica*) como coagulante orgánico para la remoción de turbiedad y color en el agua para potabilización. *Revista Científica Agua, Saneamiento & Ambiente*, 12(1), 39–45.