



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Eficiencia de los vegetales coagulantes para la minimización de turbidez en el tratamiento de agua: Revisión sistemática de los últimos 10 años

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Cuayla Mamani, Cindy Milagros (ORCID: 0000-0001-8812-5884)

Diaz Lauri, Marianela Rosmeri (ORCID: 0000-0001-5944-6304)

ASESOR:

Dr. Lozano, Sulca Yimi Tom (ORCID: 0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA — PERÚ

2022

Dedicatoria (Cindy)

Este trabajo de investigación le dedico a las personas más importante que tengo, a mi padre Samuel Cuayla, mis hermanos Kevin y Evelyn y en especial a mi madre en el cielo, por sus enseñanzas y por su apoyo, consejos e inculcarme valores y estar presentes en cada una de mis etapas de vida para lograr mis objetivos.

Dedicatoria (Marianela)

A mis padres Eliana y Henry quienes con mucho esfuerzo y comprensión me permitieron cumplir una meta, a mis dos hermanos que siempre fueron y serán un gran apoyo, con sus diferentes actitudes hicieron que logre mis sueños planteados, a nosotras porque logramos vencer cada obstáculo durante el trayecto, por último, a las personas que me apoyaron incondicionalmente a concluir mi tesis

Agradecimiento (Cindy)

A Dios por haberme dado la oportunidad en la culminación de este trabajo, y por bendecirme con la capacidad que he obtenido al realizar esta investigación. A mis familiares por el apoyo, la comprensión, la confianza para lograr el trabajo, el cual me permitió llegar a la meta. Al Dr. Nesstor Pilco Ferreto por su gran aporte y su valiosa orientación dada durante el proceso de mi tesis.

Agradecimiento (Marianela)

Principalmente, agradecer a la universidad por darnos una oportunidad y permitir convertirnos en profesionales en la carrera que tanto nos apasiona, al Dr. Yimi Tom Lozano Sulca asesor de esta tesis, por su constante apoyo y enseñanza. Agradecer a nuestros padres por su dedicación, palabras de aliento y recursos brindados en la etapa universitaria

Índice de Contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de Tablas	v
Índice de Figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	10
3.1 Tipo y Diseño de la Investigación	10
3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	10
3.3. Escenario de estudio	11
3.4. Participantes	11
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	11
3.6. Procedimiento.....	12
3.7. Rigor científico	13
3.8 Método de análisis de la Información	13
3.9. Aspectos éticos.....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
V. CONCLUSIONES	29
VI. RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS.....	31
ANEXO.....	44

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipo de especie vegetal, parte de la planta y forma molecular del coagulante vegetal	17
Tabla 2. Concentración óptima del coagulante vegetal agregado al agua para disminuir la turbidez	20
Tabla 3. Eficiencias de remoción de la turbidez para las especies vegetales consideradas en este estudio.....	22
Tabla 4. Valores de turbidez iniciales y finales de las muestras de agua tratada	23

Índice de Figuras

Figura 1. Procedimiento seguido para la realización de la revisión sistemática ..	12
Figura 2. Total de artículos sometidos a revisión, obtenidos por el procedimiento de búsqueda aplicado	15
Figura 3. Cantidad de trabajos publicados por año en las bases de datos consultadas	16

Resumen

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de cualquier país, por lo cual se requieren de procesos de tratamiento que aseguren su calidad, con el menor costo, y generando menos residuos que a su vez sean de fácil manejo. Por esto, el propósito de esta investigación es realizar una revisión sistemática de la literatura sobre el empleo de vegetales coagulantes y su eficiencia para tratar la turbidez del agua. Para ello se buscaron artículos científicos en las bases de datos Science Direct y Pub Med, entre los años 2012-2021, teniendo en cuenta en esta revisión lo establecido en la metodología PRISMA. Mediante la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron un total de 39 artículos que fueron sometidos a un completo análisis. Se encontró que el principal vegetal coagulante era la Moringa oleífera, de la cual se extrae un compuesto de tipo proteína de tipo iónico altamente eficiente en la remoción de la turbidez. También se reportó el uso de extractos de vegetales de tipo almidón, pectina y polifenoles. Se concluye, que los vegetales coagulantes, son una alternativa para la disminución de la turbidez del agua, sea de río, residuales domésticas o efluentes industriales.

Palabras clave: agua, turbidez, coagulantes vegetales, tratamiento.

Abstract

Water is a fundamental resource for the development of any country, so treatment processes are required to ensure its quality, at the lowest cost, and generating less waste that in turn are easy to manage. Therefore, the purpose of this research is to carry out a systematic review of the literature on the use of coagulating plants and their efficiency in treating water turbidity. For this purpose, scientific articles were searched in the Science Direct and Pub Med databases, between the years 2012-2021, taking into account in this review what is established in the PRISMA methodology. By applying the inclusion and exclusion criteria, a total of 39 articles were selected and subjected to a complete analysis. It was found that the main coagulating vegetable was *Moringa oleifera*, from which an ionic protein-type compound is extracted that is highly efficient in removing turbidity. The use of starch, pectin and polyphenol type vegetable extracts was also reported. It is concluded that coagulating vegetables are an alternative for the reduction of water turbidity, whether from rivers, domestic wastewater or industrial effluents.

Keywords: water, turbidity, vegetable coagulants, treatment.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más importantes para el ser humano, por lo cual, es preciso garantizar su acceso en condiciones tales que sea segura, libre de cualquier tipo de contaminantes así como de microorganismos patógenos que puedan poner en riesgo la salud de las personas (Chalchisa, Megersa y Beyene 2017, p. 1). Además, el agua limpia y segura es un recurso natural importante para la sostenibilidad de la vida y una economía sana para cualquier país (Edokpayi et al. 2018, p. 18). En ese sentido, los parámetros que se emplean para establecer la calidad del agua que será para consumo humano son muchos: por ejemplo, desde el punto de vista bacteriológico no se deben detectar coliformes fecales en una muestra de agua de 100 ml y la turbidez debe estar por debajo de 5 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) (Chalchisa, Megersa y Beyene 2017, p. 1-2).

La preocupación por la calidad del agua es global, y en lo que respecta a esta investigación solo se tendrá en cuenta a la turbidez y como puede controlarse con el empleo de materiales coagulantes. En un estudio realizado en Canadá se encontró una relación entre la presencia de micropartículas de plástico en el agua y la turbidez, pudiéndose emplear este parámetro como una medida de la eficiencia de los métodos de floculación-coagulación a base de sales de aluminio para la eliminación estos contaminantes (Lapointe et al. 2020, p. 1). En otro trabajo realizado en Argelia, se reportó que el tratamiento de aguas residuales con una dosis apropiada de biofloculante e hidroxapatita con sales de hierro o aluminio (solos o combinados) disminuían significativamente la turbidez del agua desde valores iniciales de 179 NTU (SD = 38) (Choumane et al., 2017, p. 152). También en Argelia, se reportó que los tratamientos convencionales de coagulación (con sales de hierro, Fe y aluminio, Al) no eran eficientes para remover la microalga y el fitoplancton del agua (Kellali y Ghernaout 2019, p. 56). En otro estudio realizado en Etiopía, se encontró que el almacenamiento del agua no afectaba la turbidez (2.1-2.9 NTU), pero si los indicadores de contaminación microbiológica (Chalchisa, Megersa y Beyene 2017, p. 3-4). Por último en Irak, se encontraron valores elevados de turbidez (9-147 NTU) en muestras de agua potable colectada en distintos puntos, sugiriendo que los tratamientos convencionales con sales de Al y

Fe no eran suficientes para tratar la turbidez del agua (Mahmood, Ismail y Shareef 2019, p. 4).

En Latinoamérica también se ha tratado con el problema del tratamiento del agua. En Colombia un grupo de investigadores analizó el ajuste de un modelo estadístico que predice la disminución de partículas en suspensión de muestras con valores de turbidez inicialmente bajos (Pulgarin-Montoya et al., 2021, p. 28). También en Colombia, el tratamiento de agua potable para el consumo con una turbidez inicial modelada de 10.000 NTU, no puede disminuirse con los procesos de floculación, coagulación y precipitación, para adecuarse a los requerimientos de normas internacionales, de acuerdo con lo obtenido con el modelo evaluado (Rojas y Bazurto 2020, p. 67). En Ecuador, se optimizó el proceso de tratamiento con policloruro de aluminio y cal en una planta de agua potable, donde los valores de turbidez estuvieron por debajo de 5 NTU (Velasco 2016, p. 18). En una revisión sobre métodos de tratamiento de agua, Ardila (2020, p. 60) indicó que la semilla de *M. Oleifera* era un buen coagulante por su bajo costo y facilidad de manejo, lo que es especialmente útil en zonas rurales y de bajos recursos económicos. En Costa Rica, un estudio sobre la percepción del servicio de agua potable, indicó que una de las quejas más frecuentes es la presencia de tierra y turbidez (Cruz y Centeno 2020, p. 108), lo que sugiere que el tratamiento y la distribución no son óptimas perjudicando la calidad del agua.

En Perú, la turbidez del agua y los procesos de tratamiento, también es un tema de preocupación. En el tratamiento de aguas superficiales con una turbidez inicial de 300 NTU, el tratamiento con 300 mg/L de sulfato de aluminio o penca de tuna, redujo la turbidez hasta 4.67 NTU y 1.13 NTU, respectivamente (Gaspar 2021, p. ix), sugiriendo que se pueden encontrar alternativas ambientalmente amigables para tratar el agua. Un trabajo en esa dirección, comparó el Aloe vera y el sulfato de aluminio para disminuir la turbidez del agua, encontrando que el coagulante vegetal incrementó la turbidez y modificó el color del agua, lo que indica que estos compuestos deben ser probados (García 2020, p. vi). Aunque el sulfato de aluminio es el agente coagulante más empleado, debe emplearse en cantidades óptimas, ya que su uso en exceso puede causar daños a la salud (Samaniego et al. 2020, p. 10). Por otro lado, los tratamientos del agua se complican si la variabilidad en la

turbidez de la muestra del agua de entrada a la planta, fluctúa mucho durante todo el año (Cama y Huasco 2019, p. 135). En otro estudio, donde se evaluó el efecto de la harina de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*), harina de melocactus (*Melocactus peruvianus*) y harina de penco (*Opuntia macbridei*), sobre la turbidez de una muestra de agua, y se encontró que la primera fue la más eficiente al remover el 37.79% de la turbidez inicial (Bautista 2019, p. xiii).

Teniendo en cuenta los aspectos revisados previamente, la turbidez sigue siendo un problema recurrente en la calidad del agua, y el uso de sales de aluminio y hierro puede suponer un riesgo para la salud de las personas, lo que genera que se busquen alternativas naturales basadas en coagulantes vegetales, el cual es el motivo de la presente investigación.

El problema general planteado es, ¿Cómo es la eficiencia de coagulantes vegetales en el tratamiento de aguas para tratar la turbidez?, y los problemas específicos: (a) ¿Qué tipo de coagulantes vegetales se emplean para tratar la turbidez del agua?, (b) ¿Cuál es la dosis óptima de coagulantes vegetales para tratar la turbidez del agua?, (c) ¿En qué medida los coagulantes vegetales reducen la turbidez del agua?, y (d) ¿Las aguas tratadas con coagulantes vegetales cumplen con las normas de calidad de agua con respecto a la turbidez?

En ese sentido, este trabajo se justifica al indagar sobre alternativas sostenibles y ambientalmente amigables que contribuyan a solucionar el problema de la calidad del agua relacionada con la turbidez, donde se disminuya o elimine el empleo de sales de metales, sobre todo las de aluminio que son contaminantes y tóxicas al ser humano a largo plazo. De igual manera, con el uso de coagulantes vegetales se disminuye la contaminación, ya que estos compuestos son biodegradables y pueden emplearse como enmiendas para la recuperación de suelos con problemas de estructura.

El objetivo general planteado es: Evaluar la eficiencia de los vegetales coagulantes en el tratamiento de aguas para tratar la turbidez, y los objetivos específicos: (a) Establecer el tipo de coagulantes vegetales que se emplean para tratar la turbidez del agua, (b) Determinar la dosis óptima de coagulantes vegetales para tratar la turbidez del agua, (c) Establecer la eficiencia de los coagulantes vegetales para

tratar la turbidez del agua, y (d) Verificar el cumplimiento de las normas de calidad con respecto a la turbidez para las aguas tratadas con coagulantes vegetales.

II. MARCO TEÓRICO

En este apartado se presentan de forma sintética los antecedentes nacionales e internacionales, así como las bases teóricas más relevantes que guardan relación con el uso de coagulantes de origen vegetal para disminuir la turbidez del agua.

En ese sentido, e introduciendo la revisión de los antecedentes internacionales, Sierra-Julio et al. (2019) realizaron el trabajo titulado “Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante”, cuyo propósito era evaluar la eficiencia del coagulante de origen vegetal para clarificar las muestras de agua de río y compararlas con el coagulante químico tradicional que es el sulfato de aluminio. Los investigadores emplearon un diseño factorial, se ensayaron dosis para cada tipo de coagulante entre 10-100 mg/L y se empleó la turbidez final del agua en NTU, como variable respuesta. Los investigadores obtuvieron como resultado que la dosis óptima de sulfato de aluminio era de 40 mg/L, con una disminución de la turbidez inicial de 210 NTU a 5.22 NTU (97.5% de eficiencia); por otro lado, la dosis óptima de la médula de banano encontrada también fue de 40 mg/L para una turbidez final de 68.4 NTU (67.4% de eficiencia). Para este trabajo, el sulfato de aluminio mostró un mejor desempeño, pero ambos no satisfacen la norma colombiana sobre agua para consumo humano que establece un máximo de 2 NTU.

Wambui Mumbi et al. (2018) realizaron el trabajo que lleva por título “*Sustainable treatment of drinking water using natural coagulants in developing countries: A case of informal settlements in Kenya*” (Tratamiento sostenible del agua potable con coagulantes naturales en los países en desarrollo: Un caso de asentamientos informales en Kenia) en el que evaluaron la eficiencia del policloruro de aluminio (PCA), el sulfato de aluminio (SAL) y el cactus para disminuir la turbidez en muestras de agua de Mwagu, una sección del río Chania, en Kenia. Los investigadores emplearon un experimento de forma univariada, variando la dosis de SAL, PCA o de PCA más el extracto del cactus, a muestras de agua con una turbidez inicial de 150, 410 y 510 NTU. Los resultados mostraron que a una dosis de 30 mg/L, se obtenía una eficiencia en la disminución de la turbidez de 95%, 95%

y 98% para SAL, PAC y PAC+cactus, respectivamente. En este caso, la combinación de los coagulantes, conducen a un mejor resultado, no solo en términos de turbidez, sino que el pH final es cercano a la neutralidad (inicial: 8.2, final: 7.2).

Barreto et al. (2020) realizaron la investigación que lleva por título “Evaluación de coagulantes naturales en la clarificación de aguas”, la cual tenía como objetivo evaluar el efecto de sustancias coagulantes extraídos de la semilla de aguacate y el mucílago del café para tratar muestras de agua con elevada turbiedad. Se extrajeron los coagulantes vegetales atendiendo a las características del material, y que en caso de la semilla de aguacate implicaba luego de la pulverización y tamizado, extracción del aceite por Soxhlet. Se ensayaron concentraciones de los coagulantes entre 60-360 mg/L. En los resultados se encontró, que una dosis de sulfato de aluminio de 120 mg/L reducía el 99% de la turbidez inicial de una muestra de agua de 155 NTU, mientras que los coagulantes de origen vegetal lo reducían en 65% (mucílago de café, 300 mg/L) y en 40-45% (semilla de aguacate, entre los 60-360 mg/L). En este caso, el desempeño de los coagulantes de origen vegetal fue poco eficiente.

Cabrera et al. (2018) desarrollaron el trabajo titulado “Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias”, donde se evaluaron los coagulantes extraídos de *I. incarnata* y *M. oleífera*, en comparación con los tratamientos convencionales de aguas residuales. Los compuestos fueron extraídos a partir de las semillas de las plantas mediante Soxhlet y se emplearon dosis en todos los casos de 50 mg/L. Se encontró que para una muestra de agua sintética (agua con suelo en suspensión) con una turbidez inicial de 921 NTU, se redujo el material en suspensión en 99.06, 99.18 y 99.29, para sulfato de aluminio, *I. incarnata* y *M. oleífera*, respectivamente. La aplicación en agua de curtimbres el desempeño de todos los coagulantes fue inferior, de entre 3% al 6% para los coagulantes mencionados.

Moreira y Moreira (2022) realizaron el trabajo que tiene por título “Aplicación de coagulantes naturales obtenidos de las semillas de habas (*Vicia faba*) y durazno (*Prunus persica*) en la potabilización del agua”, cuyo objetivo central era evaluar el

efecto de los extractos de semillas de habas y durazno en el tratamiento de aguas de río. Se secaron, pulverizaron y tamizaron las semillas a estudiar, y se optimizó el efecto clarificante con metodología de superficie de respuesta en un intervalo de concentraciones entre 5-20 mg/L y pH en niveles bajo, medio y alto. En los resultados, para una muestra de agua de 245 NTU de turbidez, se encontró que las semillas de habas (pH = 9, 5 mg/L, 93.13%) y las semillas de durazno (pH = 4.74, 16.02 mg/L, 89.07%) disminuyen de forma significativa los sólidos en suspensión de las muestras de agua de río.

A continuación, se presentan los antecedentes nacionales más relevantes. De acuerdo con el trabajo realizado por Canaza y Mamani (2020) que tiene por título “Revisión del uso de coagulantes naturales para remoción de turbidez de agua”, cuyo objetivo era identificar la eficiencia de coagulantes naturales para disminuir la turbiedad del agua. De entre los coagulantes naturales identificados a través de la revisión documental, el que es extraído de la Moringa oleífera tiene la mayor eficiencia, siendo probadas en muestras de agua con una turbidez inicial entre 36 y 230 NTU, tiene porcentajes de remoción mayores al 84%.

Tarrillo y Tenorio (2020) desarrollaron el trabajo titulado “Eficiencia del coagulante-floculante Tuna (*Opuntia ficus*) para la clarificación de las aguas de la acequia el pueblo de Ferreñafe-2019”, en el cual se evaluó la capacidad de la tuna para disminuir la turbidez del agua. La investigación fue de tipo experimental, incorporando la tuna en forma de corteza, de gel y la mezcla de ambas, a muestras de agua turbia. La aplicación de la mezcla de gel y corteza de tuna (26 g/L, partes iguales) en el tratamiento de la muestra de agua, redujo la turbidez desde 80 NTU hasta 30.29 NTU, lo que representa una eficiencia del 62%.

Por su parte, Godoy (2018) desarrollo el trabajo titulado “Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna”. En el trabajo, se extrajo el coagulante de la pulpa de la paleta de tuna, y se dosificó a la muestra de agua de río (turbidez inicial entre 300-320 NTU) y se comparó con un coagulante comercial de tipo polimérico de la familia de las poliacrilamidas. De acuerdo a los resultados, el material vegetal tuvo una alta eficiencia, ya que con una dosis de 17 mg/L disminuyo la turbidez hasta 3.34 NTU ($\approx 98.9\%$), en tanto que el coagulante de marca comercial redujo la

turbidez hasta 10.3 NTU con una dosis de 13.3 mg/L (\approx 96.7%), lo que demuestra que los materiales de origen vegetal pueden ser idóneos para tratar el agua.

Con un enfoque similar, López (2018) realizó la investigación titulada “Evaluación del uso de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante natural para el tratamiento de aguas”, para establecer las condiciones del uso de este material que permitan disminuir la turbidez del agua. Se trabajó con un diseño experimental, donde se prepararon muestras sintéticas de agua con una turbidez entre 20-500 NTU, se optimizó la dosis de coagulante y el pH, y al final se midió la turbidez, el pH, el color y la conductividad eléctrica. Se encontró que la dosis óptima del coagulante variaba en función a la turbidez inicial del agua, pudiéndose trabajar entre 30-90 mg/L; la eficiencia alcanzada estuvo entre 58-86%, inferior a la del sulfato de aluminio, y aunque el comportamiento del coagulante natural también fue menos eficiente para disminuir el color, no produjo variaciones significativas en el pH y la conductividad eléctrica final del agua.

Para finalizar el apartado de los antecedentes nacionales, Neciosup et al. (2019), realizaron el trabajo titulado “Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco”, el cuál perseguía proponer una alternativa a bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas por las actividades agropecuarias. El trabajo fue de tipo experimental, y se evaluaron las cáscaras de papa, yuca y tuna a diferentes dosis, sobre la turbidez del agua de río. De acuerdo con los resultados, la cáscara de yuca tuvo el mejor desempeño a una dosis de 250 mg/L, teniendo una eficiencia de remoción del 30.50%.

En los siguientes apartados se presentarán las bases teóricas de la tesis, donde se definirá la turbidez del agua y sus causas, los procedimientos basados en la coagulación para disminuir la turbidez y por último la naturaleza de los coagulantes de origen vegetal como alternativa económica, accesible, menos tóxica y de menor impacto ambiental que los coagulantes convencionales del tipo sulfato de aluminio.

El agua limpia es muy esencial para la existencia humana, y la falta de disponibilidad de agua potable es la razón predominante de la mayoría de las muertes y enfermedades, haciendo que la producción de agua segura y saludable

a partir de la mayoría de las fuentes de agua bruta sea una parte esencial para completar el ciclo del agua, sobre todo si se tiene en cuenta que cada año, una gran cantidad de efluentes institucionales (hogares, organizaciones y edificios comerciales) que contienen materiales orgánicos e inorgánicos se vierten en el medio ambiente sin ningún tipo de tratamiento (Kumar 2020, p. 241). La presencia de estos materiales puede cambiar el color del agua y causar turbidez, la cual se relaciona con la presencia de partículas en suspensión, que además de afectar las propiedades fisicoquímicas del agua, puede tener efectos negativos sobre la flora y la fauna de los ecosistemas acuáticos (de Oliveira Cardoso Nascimento et al. 2021, p. 2). Debido a omnipresencia de las partículas junto con sus propiedades físicas y químicas, éstas forman parte vital en los ciclos globales geoquímicos, biológicos y geológicos del medio acuático (Saritha, Karnena y Dwarapureddi 2019, p. 1).

La coagulación es uno de los procesos más antiguos que sigue empleándose ampliamente en muchas plantas de tratamiento de agua y aguas residuales. La coagulación es un proceso que elimina las impurezas (especialmente las partículas en suspensión y los coloides) del agua desestabilizando y aglomerando las partículas en agregados más grandes: esto permite que los agregados se asienten rápidamente y, posteriormente, puedan separarse fácilmente del agua (Ang y Mohammad 2020, p. 2). La coagulación puede definirse como una reacción física y química que se produce entre la alcalinidad del agua y el coagulante añadido, que da lugar a la formación de partículas, y que depende de factores tales como el tipo de coagulante utilizado y su dosificación y el valor del pH del agua a tratar (de Oliveira Cardoso Nascimento et al. 2021, p. 2). Las sustancias con propiedades coagulantes se pueden clasificar en inorgánicas y orgánicas, como se explica a continuación.

Los coagulantes inorgánicos son por lo general sales inorgánicas de aluminio, hierro y cobre. Su aplicación incluye la eliminación de las especies químicas disueltas y de la turbidez del agua mediante la adición de coagulantes convencionales de base química, como el hierro o el sulfato, el cloruro de hierro o el sulfato de aluminio se utilizan a menudo en la primera operación. El sulfato de aluminio, en condiciones óptimas, puede alcanzar entre el 90% y el 99% de eficacia

en la eliminación de microorganismos (Choumane et al. 2017, p. 152). Sin embargo, el sulfato de aluminio, ampliamente utilizado en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, cuando está presente en altas dosis en el cuerpo humano puede causar enfermedades que afectan a la coordinación motora y el sistema nervioso central, como la enfermedad de Alzheimer (Saritha, Karnena y Dwarapureddi 2019, p. 2).

Por otro lado, los coagulantes orgánicos son polímeros que poseen una alta carga positiva, necesaria para desestabilizar las partículas coloidales con carga negativa y asegurar una rápida floculación. Estos compuestos contienen moléculas de alto peso molecular hidrosolubles, que cuando se administran en dispersiones se adsorben o se unen químicamente a la superficie de las partículas de la fase dispersa y se combinan los aglomerados de partículas, promoviendo su rápida deposición (Kumar 2020, p. 242).

A pesar de la eficacia demostrada de los coagulantes inorgánicos y orgánicos sintéticos, los inconvenientes asociados han motivado la búsqueda de coagulantes naturales que, en general, se consideran más respetuosos con el medio ambiente en términos de producción y uso. Las principales ventajas atractivas de los coagulantes naturales radican en su renovabilidad, biodegradabilidad, no toxicidad y rentabilidad relativa (Ang y Mohammad 2020, p. 1). Los coagulantes naturales se obtienen principalmente de bacterias, hongos, animales y plantas y se clasifican en polisacáridos, amino-polisacáridos, polifenoles y sustancias basadas en proteínas (Saleem y Bachmann 2019, p. 281).

Sobre la base del conocimiento de la química de los coagulantes en general, y de los coagulantes vegetales conocidos en particular, los coagulantes vegetales se clasifican en cuatro tipos, a saber, catiónicos, aniónicos, poli-iónicos (anfóteros o anfóteros), y coagulantes no iónicos. En la actualidad, se ha aislado e identificado aproximadamente el 26% de los compuestos activos de diversos extractos de plantas, lo que exige un esfuerzo más concertado para colmar esta laguna de conocimientos sobre los extractos de plantas (Saleem y Bachmann 2019, p. 283).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación

Esta investigación fue de tipo básica (CONCYTEC 2018, p. 78), ya que a través de un proceso de búsqueda, análisis y síntesis de información, se busca dar respuesta a situaciones que ponen en riesgo a la sociedad y al ambiente del país. De acuerdo con Arias (2012, p. 22) este tipo de investigación permite aumentar los postulados teóricos, que en este caso tiene que ver con el inconveniente de la elevada turbidez en el agua y la proposición del empleo de coagulantes de origen vegetal para tratarla.

En ese sentido, el diseño de esta investigación fue de tipo documental dado a que se ejecuta mediante “un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios” (Arias 2012, p. 27). En este estudio, la información para responder a los problemas de investigación proviene de investigaciones de tipo experimental que emplean los coagulantes naturales para disminuir la turbidez del agua.

3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

En este apartado se describen las categorías y subcategorías asociadas al problema de esta investigación:

- a) Tipo de coagulantes vegetales: las características de los vegetales coagulantes dependen de la planta y del tejido de donde se extrae, la forma de extracción y la naturaleza química. En conjunto, pueden modular el comportamiento del coagulante y su eficiencia para remover la turbidez.
- b) Dosis optima del coagulante vegetal: representa la cantidad idónea del coagulante con el que se alcanza la máxima eficiencia de remoción en ciertas condiciones dadas del sistema, como el pH, turbidez inicial, la temperatura y el tipo de matriz acuosa.
- c) Eficiencia de la disminución de la turbidez: es un parámetro que cuantifica la disminución de la turbidez y es característico de la especie vegetal.
- d) Turbidez del agua: presencia de material de diferente naturaleza en dimensiones coloidales que dispersan la radiación electromagnética. Es un parámetro de calidad del agua que afecta su uso y que esta regulado en diferentes normas.

La matriz de categorización se muestra en el Anexo 1.

3.3. Escenario de estudio

Se denomina escenario de investigación a una situación particular que tiene la potencialidad para promover un trabajo investigativo o de indagación (Skovsmose 2000, p. 5). Dada las posibilidades que ofrece la búsqueda de información en las bases de datos y repositorios, este constituye el principal escenario de investigación de este estudio. Tales bases de datos, como Science Direct y Pub Med agrupan una diversa cantidad de estudios en distintas áreas del conocimiento como las ciencias básicas y aplicadas, en revistas indexadas y de alto impacto, por lo cual se pueden revisar los antecedentes relacionados a la eficiencia de los coagulantes naturales vegetales, sintetizando la información obtenida de las investigaciones realizadas en la reducción de la turbidez de aguas residuales domésticas, pecuarias, agrícolas, industriales y urbanas, de autores de diferentes partes del mundo.

3.4. Participantes

Como toda investigación con diseño documental, la información se obtiene a partir de fuentes secundarias (Arias 2012, p. 27), debido a que no se tiene un contacto directo, es decir se basa en datos obtenidos a partir de la literatura especializada disponible en fuentes electrónicas.

Los participantes de la presente revisión sistemática, la conforman las bases de datos de diferentes revistas y artículos de investigación científica de donde se extrajo la información, en el idioma inglés comprendidos entre el periodo de enero de 2012 a marzo de 2021, en relación a la eficiencia de los vegetales coagulantes en la minimización de la turbiedad durante el tratamiento del agua.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En concordancia con el diseño de la investigación que fue de tipo documental, las técnicas de recolección de datos fueron el análisis documental y el análisis de contenido (Arias 2012, p. 68). Para el análisis documental se emplearon como instrumentos las fichas que permitió recabar los datos bibliográficos más relevantes (título, autores, fecha, revista, volumen, número, páginas, resumen) de los estudios seleccionados. En el caso del análisis de contenido, se empleó como instrumento

el cuadro de registro, donde se colocó la información extraída de los artículos referentes a las categorías y subcategorías descritas previamente.

3.6. Procedimiento

Para la realización de la presente revisión sistemática de la literatura se empleó la metodología PRISMA (Moher et al. 2009), la cual es muy empleada en este tipo de estudios. La búsqueda de la información se realizó en las bases de datos como: Science Direct y Pub Med, con las palabras clave “*vegetable coagulants, natural coagulants, turbidity, water treatment*”, separados por el booleano OR y AND (Cooper, Hedges y Valentine 2009). Por ejemplo, en la base de datos Science Direct, se colocaron las palabras clave en las casillas de búsqueda por “*Keyword*”, sin tener en cuenta la literatura gris, es decir, disertaciones de congresos, capítulos de libros, reviews y tesis, entre los años 2012-2021.

Para la selección inicial de los artículos, se tuvo en cuenta la presencia de las palabras clave en el título y en el resumen del artículo. En la Figura 1 se muestra de forma esquemática el procedimiento efectuado para la realización de la revisión sistemática.



Figura 1.

Procedimiento seguido para la realización de la revisión sistemática

Los criterios de inclusión son: se consideraron artículos de investigación de tipo experimental con los códigos de consulta en relación al proyecto de investigación; las investigaciones deben comprender del periodo de enero de 2012 a marzo de

2022; solo se tuvo en cuenta estudios escritos en idioma inglés, y, por último, que guarden relación con los objetivos del presente trabajo. Por otro lado, los criterios de exclusión son: investigaciones publicadas en revistas no indexadas; investigaciones fuera del periodo de tiempo establecido en el estudio; investigaciones en idiomas no establecidos en la tesis, y, por último, investigaciones que se encuentren en etapas preliminares o incompletas.

3.7. Rigor científico

Para garantizar que se cumplieron con los estándares de calidad para una investigación cualitativa se tuvo en cuenta la dependencia, la credibilidad, la transferencia y la confirmabilidad (Hernández, Fernández y Baptista 2010, p. 471). Para garantizar la dependencia, la investigación se realizó mediante la revisión de artículos en un período de tiempo determinado, en bases de datos de libre acceso y con determinadas palabras clave. Para garantizar la credibilidad, se respetaron las ideas expresadas y datos contenidos en cada una de los artículos revisados. Para garantizar la transferencia de los resultados se describió los participantes, el escenario y el tiempo de estudio, así como el procedimiento empleado para el análisis de los datos. Y, por último, la confirmabilidad se establecieron proporcionando las referencias de las fuentes consultadas y el procedimiento lógico empleado para su análisis.

3.8 Método de análisis de la Información

Con el propósito de interpretar los datos de una investigación cualitativa se aplicó una serie de procesos de análisis de naturaleza empírica y teórica, para conducir no solo la forma de revisar y estructurar la información recabada sino las propias operaciones básicas como es la lectura y jerarquización de los datos (Marín, Hernández y Flores 2016, p. 3).

Luego de la etapa de categorización y registro de la información, se establecieron relaciones entre las variables y las categorías formuladas para responder a las preguntas de investigación, las cuales orientan la forma de analizar los datos (Bonilla-Castro y Rodríguez 1997, p. 143). También se aplicó una contrastación, con el propósito de comparar los resultados de la investigación, con lo recabado previamente en los antecedentes nacionales e internacionales y con el marco teórico elaborado (Marín, Hernández y Flores 2016, p. 4; Cerrón 2019, p. 3).

3.9. Aspectos éticos

Este proyecto de investigación cumplió con los aspectos éticos estipulados en el Código de Ética de la Universidad César Vallejo con resolución del Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV como la responsabilidad, la autonomía del investigador, también se garantizó los derechos propios intelectuales de las fuentes. Se citaron adecuadamente las fuentes bibliográficas de acuerdo a la Norma ISO 960 y se cumplió con el código de ética de la UCV -2020, en toda instancia.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, en la Figura 2 se muestran los resultados del proceso de búsqueda de los artículos en las bases de datos Science Direct y Pub Med sobre los vegetales coagulantes y su aplicación para el tratamiento de la turbidez del agua. Inicialmente se localizaron en total 828 artículos, los cuales en su mayoría fueron descartados porque las siguientes razones: no estaban relacionados con el tema de estudio, eran revisiones, disertaciones, tesis o capítulos de libros. De los 73 artículos restantes que pasaron a la segunda etapa de revisión, 31 trataban sobre aplicación de coagulantes, pero de tipo químico (grafeno, carbón, especies de hierro o nuevas sales de aluminio), de origen animal (quitosan) o microorganismos (levadura). También se descartaron los artículos cuyo objetivo principal era la decoloración del agua o la disminución de la carga de microorganismos en el vital líquido. Otros tres artículos estaban duplicados, por lo cual la cantidad de artículos que fue sometido a análisis fue de 39.

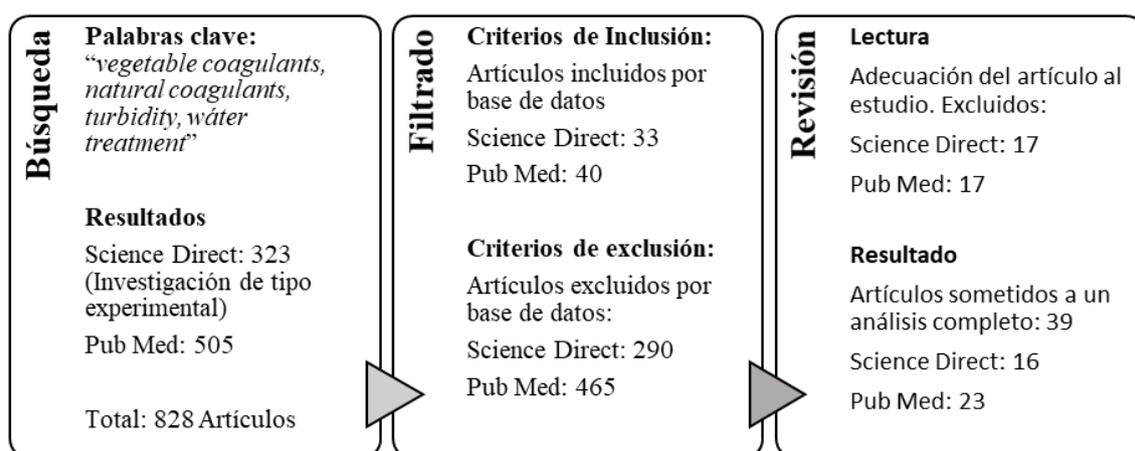


Figura 2.

Total de artículos sometidos a revisión, obtenidos por el procedimiento de búsqueda aplicado

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 3, la mayor densidad de trabajos publicados en relación al empleo de vegetales coagulantes para el tratamiento de la turbidez del agua, se presenta a partir del año 2018, lo que implica que esto es una temática muy relevante para el desarrollo y empleo de alternativa para el manejo de la contaminación del agua, que genere menos desechos, de menor toxicidad y

económicas, sobre todo para aquel sector de la población, la cual es más vulnerable económicamente y no tiene un acceso constante al agua potable.

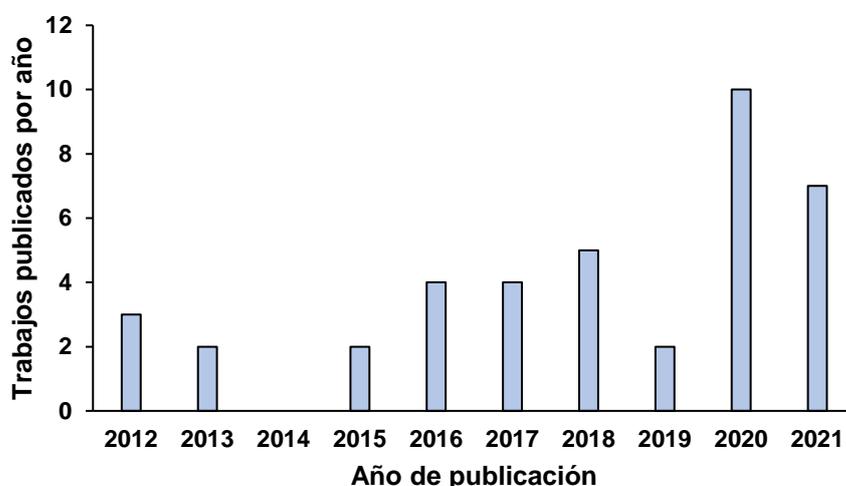


Figura 3

Cantidad de trabajos publicados por año en las bases de datos consultadas

En la Tabla 1 se muestran las especies de plantas de donde se obtienen los coagulantes, la parte de la planta y el procedimiento de extracción, y el tipo de molécula responsable del comportamiento floculante. Con respecto a la especie de planta, la moringa (*Moringa oleífera*) es por mucho la más investigada, seguido por otras especies de plantas como los cactus y el nopal, y otras plantas que pueden resultar atractivas por la producción de frutos con semillas y mucílago, así como algunos cultivares de interés agroindustrial que generan residuos con potencial coagulante, como la banana, los cereales, las leguminosas y la naranja. También se observa en la Tabla 1, que las partes de la planta de donde se extrae el coagulante vegetal es la semilla, seguido por las hojas, la corteza y el tallo; en el caso de la moringa, su semilla es la principal fuente del coagulante. Y, cuando se menciona el tipo de molécula, las macromoléculas como las proteínas, los polisacáridos, los polifenoles y los flavonoides son los de mayor interés.

Tabla 1

Tipo de especie vegetal, parte de la planta y forma molecular del coagulante vegetal

Especie vegetal	Parte de la planta	Forma de extracción del coagulante	Molécula	Referencia
<i>A. indica</i> , <i>S. palustris</i> , <i>D. linearis</i> , <i>S. polyanthum</i> , <i>M. esculenta</i> , <i>P. sarmentosum</i> , y <i>M. malabathricum</i>	Hojas	Con agua a partir del polvo	No indican	Ahmad et al. (2021)
<i>Abelmoschus esculentus</i> y <i>Passiflora edulis</i>	Semillas	Polvo de semillas inferior a 1 micra	Polisacáridos/Lípidos	Muniz et al.(2020)
<i>Avicennia marina</i>	Hojas	Tratamiento con HCl del polvo	Moléculas con grupos hidróxido, carbonilo y amino	Naruka et al. (2021)
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Hojas	Uso directo	Anillos aromáticos, grupos hidroxilo, y carbonilo de los ácidos	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
<i>Ceratonia siliqua</i> L. y <i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Desgrasado con etanol del polvo	No indican	Bazzo et al. (2021)
<i>Cocos nucifera</i> (coco)	Endospermo	Con agua, precipitación en medio ácido, desgrasado con hexano	Proteína (caseína)	Fatombi et al. (2013)
<i>Dillenia indica</i>	Fruta	A partir del mucílago de la fruta.	Polisacáridos	Manholer et al. (2019)
<i>Durio zibethinus</i>	Semilla	Modificación química del almidón (unión cruzada)	Almidón	Yusoff et al. (2018)
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Corteza del tallo	Uso directo de polvo	Taninos condensados y flavonoides	Muniz et al. (2020)
Lenteja	Semillas	Con agua (LE) y modificado químicamente (LE-g)		Chua et al. (2020)
<i>M. oleifera</i> y <i>C. arietinum</i>	Semillas	Medio acuoso	Proteínas	Mohd et al. (2018)

Espece vegetal	Parte de la planta	Forma de extracción del coagulante	Molécula	Referencia
Maíz, Trigo, Papa y Arroz	Adquirido de una casa comercial	Gelatinizado y no gelatinizado, con autoclave	Almidón	Choy et al. (2016)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Desgrasado de la semilla con hexano; turbolisis por 30 min con agua destilada	Proteína (globulina, albúmina)	Baptista et al. (2017)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Desgrasado con etanol, con una técnica presurizada y con solución de NaCl	NI	Camacho et al. (2017)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Con agua y posterior purificación.	Proteína (lectina)	Freitas et al. (2016)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Con agua	Proteína	Kapse y Samadder (2021)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Uso directo o un extracto.		Keogh et al. (2017)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Con agua o con solución salina de cloruro de calcio	Proteínas	Mohamed et al. (2021)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Uso directo de polvo	No indican	Poumaye et al. (2012)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Uso directo del polvo o extracción con agua.	Proteínas	Sengupta et al. (2012)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Polvo de la semilla	No indican	Desta y Bote (2021)
<i>Moringa oleifera</i>	Hojas y semillas	Con hexano a mezclas equivalentes de hojas y semillas	No indican	Alam et al. (2020)
<i>Moringa oleifera</i>	Hojas	Con hexano, etanol o metanol	No indican	Pandey et al. (2020)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Polvo de semilla, solución salina y libre de aceite	No indican	Salazar Gámez et al. (2015)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Modificado con nanopartículas magnéticas de óxido de hierro	Coagulante con propiedades magnéticas	Santos et al. (2016)
<i>Moringa oleifera</i>	Semillas	Purificación por intercambio iónico y filtración en gel	Proteína	Taiwo et al. (2020)
<i>Moringa oleifera</i> y <i>Cassia Fistula</i>	Semillas	Se pulverizaron las semillas y se preparó un extracto acuoso de los coagulantes	No indican	Lugo-Arias et al. (2020)
<i>Moringa oleifera</i> , <i>Strychnos potatorum</i> y <i>Phaseolus vulgaris</i>	Semillas	Con agua, solución de cloruro de sodio y solución de hidróxido de sodio	No indican	Muthuraman y Sasikala (2013)

Especie vegetal	Parte de la planta	Forma de extracción del coagulante	Molécula	Referencia
<i>Musa paradisiaca</i> y <i>Dolichos lablab</i>	Cáscara (banana) y semillas (frijol indio)	En medio acuoso	Carbohidratos y proteínas	Daverey et al. (2018)
Naranja	Cáscara	Con solución a pH 1.5, a 80-82 °C por 1 h	Peptina	Kebaili et al. (2018)
Nopal y yuca	Nopal y yuca	Se extrajo el mucílago del nopal y el almidón de yuca fue adquirido en un comercio	Almidón	Lugo-Arias et al. (2020)
<i>Opuntia cochenillifera</i>	Penca	Polvo extraído de la penca	No indican	Freitas y Sabogal-Paz (2019)
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Cactus	Obtención de extracto de la penca		Rachdi et al. (2017)
Panapén	Semillas	Con solución alcalina	Almidón	Choy et al. (2016)
Pino	Conos o piñas	Polvo del material	No indican	Hussain et al. (2019)
Plátano, Papaya y Neem	Cáscara, tallo, semillas y hojas	Polvo de cáscara de plátano, extracto de tallo de plátano, polvo de semilla de papaya y polvo de hoja de neem.	Cáscara de plátano: ácido, hidroxilo y aminas	Maurya y Daverey (2018)
<i>Quercus Branti</i>	Fruto	Pulverización del fruto y extracción del coagulante con etanol	No indican	Jamshidi et al. (2020)
Sagú	Tronco	Con metabisulfito de sodio	Almidón	Aziz y Sobri (2015)
<i>V. faba</i>	-	Extracto comercial	No indican	Saraswathi y Saseetharan (2012)

Fuente: Elaboración propia

Para la extracción de los coagulantes de la planta se emplean procedimientos comunes, como el secado, molienda, tamizado y extracción con medios acuosos, con el uso de solventes orgánicos polares y apolares, y en algunos casos aplican procesos químicos para modificar la reactividad de la molécula. Luego de tener el material vegetal que contiene el coagulante o el componente extraído, se aplica en el tratamiento de aguas, en dosis como las señaladas en la Tabla 2.

Tabla 2

Concentración óptima del coagulante vegetal agregado al agua para disminuir la turbidez

C (mg/L)	pH	T (° C)	Turbidez inicial (NTU)	Tipo de agua	Referencia
-	5.5 - 7.3		>150	Agua de riego	Sengupta et al. (2012)
-	3-12; < 5 o > 9	-	62	Suspensión de caolinita	Daverey et al. (2018)
-	7.4-7.2		662-645	Agua de río	Lugo-Arias et al. (2020)
-	2 o 12	-	67-71	Suspensión de caolinita	Hussain et al. (2020)
-	7.54	-	296	Agua residual doméstica	Rachdi et al. (2017)
-	7.4-7.8	-	316; 80	Agua de río	Lugo-Arias et al. (2020)
-	7.9-8.5	-	1387-1500	Efluente de mina	Kapse y Samadder (2021)
200	7.39	-	37.95	Agua de río	Freitas et al. (2016)
6	3	-	500	Suspensión de bentonita	Kebaili et al. (2018)
9.43 (10.72 Fe)	5.0	-	-	Efluente de Textiles	Manholer et al. (2019)
13	7.9	-	50	Aguas superficiales	Baptista et al. (2017)
25-100	8.4	-	14.4	Aguas subterráneas	Alam et al. (2020)
30	6.8	-	111	Aguas superficiales	Freitas et al. (2019)
50	7.8	-	30-60	Aguas superficiales	Camacho et al. (2017)
62.6	5.6-7.5	-	20-250	Suspensión de caolinita	Jamshidi et al. (2020)
60	-	-	41.19	Aguas superficiales	Taiwo et al. (2020)
60 (2.1 Al)	-	-	165.5	Suspensión de caolinita	Choy et al. (2016)
62.5 - 219		-	47-3050	Aguas superficiales	Salazar Gámez et al. (2015)
80-100	8.0	-	-	Suspensiones de sílice	Fatombi et al. (2013)

C (mg/L)	pH	T (° C)	Turbidez inicial (NTU)	Tipo de agua	Referencia
88.46-63.08	4.0-6.7	-	890	Aguas residuales agrícolas	Chua et al. (2020)
120	4.0	-	165	Suspensión de caolinita	Choy et al. (2016)
150	8.2	-	15.6	Aguas subterráneas	Pandey et al. (2020)
180	8.0	-	9.96-187	Agua residual	Mohd et al. (2018)
200-300		21-37	200	Suspensión de terracota	Keogh et al. (2017)
250-1000	7	-	100-500	Suspensión de caolinita	Muthuraman y Sasikala (2013)
400	-	-	-	Agua residual doméstica	Maurya y Daverey (2018)
400	5.0		242	Lixiviados de vertedero	Yussof et al. (2018)
400- Mo; 10 - Fe	-	-	79	Aguas superficiales	Santos et al. (2016)
500	9.0	-	230	Efluente industrial	Saraswathi y Saseetharan (2012)
775.8	5.0	-	698	Agua residual sintética	Muniz et al. (2020)
800	7-9	-	-	Aguas residuales	Destá y Bote (2021)
1000		-	15.15-16.36	Suspensión de lodo y almidón	Naruka et al. (2021)
2000-1300	9-5	-	698	Agua residual sintética	Muniz et al. (2020)
2000	11	-	83.7-178	Agua no tratada	Bazzo et al. (2021)
3000	-	-	273	Efluente industrial	Mohamed et al. (2021)
4000	4.5	-	1013	Aguas residuales urbanas	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
16000	7.4	-	125	Agua de río	Poumaye et al. (2012)
5000-10000	-	-	500	Suspensión de caolinita	Ahmad et al. (2021)
5000-6000	6	-	263	Lixiviados	Aziz y Sobri (2015)

Nota. C, concentración del extracto de coagulante vegetal en el agua a tratar.

Fuente: Elaboración propia.

En general, se emplean dosis óptimas de los coagulantes vegetales que varían entre 0.2 mg/L hasta los 10,000 mg/L, siendo esto dependiente de las propiedades de la molécula coagulante, así como del tipo de muestra donde se pretende aplicar, ya que va desde agua con baja turbidez y que luego de ser tratada puede emplearse como agua potable, hasta aguas residuales de origen agropecuario, residenciales e industriales, que ameritan ser tratadas antes de ser devueltas al ambiente.

En algunos casos, se emplean coagulantes vegetales, con sales de hierro y aluminio, para aumentar la eficiencia de la disminución de la turbidez y disminuir la carga de la sal metálica empleada en el tratamiento. Aunque la temperatura puede afectar la solubilidad y la dispersabilidad de las partículas en suspensión, se tuvo en cuenta en un solo estudio.

La eficiencia de la remoción de la turbidez del agua alcanza valores entre 99% hasta valores bajos de 24%, como se observa en la Tabla 3. Incluso, para un mismo vegetal y dosis similares de coagulante la eficiencia es significativamente diferente. Sin embargo, en el 75% de los artículos revisados se alcanzan valores de eficiencia de al menos el 70%.

Tabla 3

Eficiencias de remoción de la turbidez para las especies vegetales consideradas en este estudio

Especie vegetal	% Eficiencia de remoción	Referencia
Moringa oleifera, Strychnos potatorum y Phaseolus vulgaris	99; 90; 95	Muthuraman y Sasikala (2013)
Lenteja	99.5-99.83	Chua et al. (2020)
Naranja	99	Kebaili et al. (2018)
Sagú	98.9	Aziz y Sobri (2015)
Moringa oleifera	98-99.75	Poumaye et al. (2012)
Moringa oleifera	98-99.5	Desta y Bote (2021)
Moringa oleifera	97.48	Kaspe y Samadder (2021)
Dillenia indica	96.86	Manholer et al. (2019)
Cocos nucifera (coco)	96.8	Fatombi et al. (2013)
Moringa oleifera	96.8	Freitas et al. (2016)
Guazuma ulmifolia	95.8	Muniz et al. (2020)
Moringa oleifera y Cassia Fistula	96; 70	Lugo-Arias et al. (2020)
Musa paradisisca y Dolichos lablab	95.13; 87.81	Daverey et al. (2018)
Opuntia ficus-indica	93.65	Rachdi et al. (2017)
Opuntia cochenillifera	93	Freitas et al. (2019)
Moringa oleifera	90	Santos et al. (2016)
Abelmoschus esculentus y Passiflora edulis	91.1; 91.5	Muniz et al. (2020)
Moringa oleifera	90-99.9	Salazar Gámez et al. (2015)
Avicennia marina	90-94	Naruka et al. (2021)
Moringa oleifera	89.71	Baptista et al. (2017)
Durio zibethinus	89.7	Yussof et al. (2018)
Moringa oleifera	87	Keogh et al. (2017)
M. oleifera y C. arietinum	86.24; 80.02	Mohd et al. (2018)

Especie vegetal	% Eficiencia de remoción	Referencia
Moringa oleifera	85-96	Sengupta et al. (2012)
Ceratonia siliqua L. y Moringa oleifera	85; 90	Bazzo et al. (2021)
Moringa oleifera	85	Camacho et al. (2017)
Moringa oleifera	80	Mohamed et al. (2021)
Pino	77	Hussain et al. (2020)
Azadirachta indica A. Juss.	73	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
Quercus Branti	63.5	Jamshidi et al. (2020)
Moringa oleifera	60.2	Pandey et al. (2020)
Plátano, Papaya y Neem	59.6	Maurya y Daverey (2018)
Moringa oleifera	56.9	Alam et al. (2020)
Panapén	55	Choy et al. (2016)
V. faba	53.7	Saraswathi y Saseetharan (2012)
Maíz, Trigo, Papa y Arroz	50	Choy et al. (2016)
Nopal y yuca	47-67	Lugo-Arias et al. (2020)
Moringa oleifera	40.8	Taiwo et al. (2020)
A. indica, S. palustris, D. linearis, S. polyanthum, M. esculenta, P. sarmentosum, and M. malabathricum	24.2 (P. Sarmentosun)	Ahmad et al. (2021)

Fuente: Elaboración propia

A pesar de la alta eficiencia en la remoción de turbiedad en las diferentes muestras de agua, en muchos casos no se satisfacen los valores máximos permitidos por algunas normativas nacionales e internacionales (Ver Tabla 4). En ese sentido, aunque la OMS recomienda valores de turbidez para el agua potable inferiores a 1 NTU, por lo general se encuentran valores menores a 5 NTU, para que el agua pase a las siguientes etapas de potabilización.

Tabla 4

Valores de turbidez iniciales y finales de las muestras de agua tratada

Norma	Valores de turbidez permitidos (NTU)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Referencia
OMS	< 5	50	5.14	Baptista et al. (2017)
OMS	< 5	30-60	4.5-9.0	Camacho et al. (2017)
-	-	165	82	Choy et al. (2016)
-	-	-	8	Fatombi et al. (2013)

Norma	Valores de turbidez permitidos (NTU)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Referencia
CONAMA Resolución 357	< 40	37.95	1.2	Freitas et al. (2016)
-	-	1387-1500	-	Kaspe y Samadder (2021)
-	-	500	1.7	Kebaili et al. (2018)
-	30	200	26	Keogh et al. (2017)
DOE (Malasia)	-	273	54.6	Mohamed et al. (2021)
-	-	9.96-187	2.03-2.98	Mohd et al. (2018)
-	-	698	62.82	Muniz et al. (2020)
-	-	698	29.32	Muniz et al. (2020)
WHO	10	100-500	50-5	Muthuraman y Sasikala (2013)
OMS	5	125	2.2-1.72	Poumaye et al. (2012)
USEPA	2	>150	7-11	Sengupta et al. (2012)
-	-	1013	273.5	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
-	-	890	8	Chua et al. (2020)
-	-	500	379	Ahmad et al. (2021)
-	-	165.5	75.3	Choy et al. (2016)
-	-	83.7-178	8.4-26.7	Bazzo et al. (2021)
-	-	263	0.263	Aziz y Sobri (2015)
-	-	20-250	7.3-91.25	Jamshidi et al. (2020)
-	-	-	-	Desta y Bote (2021)
-	-	62	3.0-7.6	Daverey et al. (2018)
-	-	67-71	15.4-16.3	Hussain et al. (2020)
-	-	14.4	6.2	Alam et al. (2020)
-	-	296	18.6	Rachdi et al. (2017)
-	-	-	-	Manholer et al. (2019)
-	-	-	-	Maurya y Daverey (2018)
Ley Colombiana	2	662-645	6.9-9.1	Lugo-Arias et al. (2020)
-	-	316; 80	167; 26	Lugo-Arias et al. (2020)
		242	24.93	Yussof et al. (2018)
WHO	6	15.6	6.1	Pandey et al. (2020)
WHO	1	15.15-16.36	7.1	Naruka et al. (2021)
-	-	47-3050	5 - 2.5	Salazar Gámez et al. (2015)
-	-	79	7.9	Santos et al. (2016)
Estándar Nigeriano para agua potable	5	41.19	23.51	Taiwo et al. (2020)
-	-	111	7.83	Freitas et al. (2019)
-	-	230	106.49	Saraswathi y Saseetharan (2012)

Fuente: Elaboración propia

Para continuar, en esta sección se tratará la discusión de los resultados de esta tesis, atendiendo a cada uno de los objetivos inicialmente planteados. En ese sentido, en el primer propósito es establecer el tipo de coagulantes vegetales empleados para el tratamiento del agua. Para ello, se ha de tener en cuenta el vegetal de origen y el tipo de molécula que tiene la propiedad de formar coágulos decantables o retenibles en filtros con el tamaño de poro adecuado. En ese sentido, la mayoría de los estudios, ha centrado sus esfuerzos en probar la eficiencia de los compuestos presentes en la semilla y la hoja de moringa, para el tratamiento del agua. En un trabajo de revisión similar realizado por Canaza y Mamani (2020, p. 4) se reportó que la planta de moringa era muy empleada en procesos de tratamiento del agua, con buenos resultados. Esto se debe probablemente a que la moringa es un árbol que está ampliamente disperso en los países tropicales (Sengupta et al. 2012, p. 3647) y su empleo como tratamiento previo para la potabilización del agua no acarrea riesgos a la salud de las personas (Baptista et al. 2017, p. 115) por su escasa o nula toxicidad. En ese sentido, al ser un árbol disponible, disminuye los costos económicos que supone la purificación del agua, sobre todo en zonas alejadas y con altos niveles de pobreza (Lugo-Arias, Burgos-Vergara, et al. 2020, p. 1), donde se tiene que hacer uso de los recursos disponibles para tener la mejor calidad de vida posible.

En el caso del extracto de *Moringa oleífera*, el compuesto responsable de la coagulación es una proteína. De acuerdo a lo obtenido por Baptista et al. (2017, p. 114) las proteínas aisladas del extracto de moringa están constituida por un 53% de globulina y un 44% de albúmina, siendo la primera la que presenta el mejor desempeño para la disminución de la turbidez, sino del color y la absorbancia a 254 nm (indicador de materia orgánica disuelta en el agua). Algunos autores han sugerido que los extractos de moringa contienen electrolitos carga positiva o cationes (Poumaye et al. 2012, p. 2346). Esto está en acuerdo con la naturaleza proteínica del extracto de moringa, dado que las proteínas están compuestas de aminoácidos que tienen grupos ionizables como el amino y el carboxilo que le otorgan carga eléctrica a estos agregados de proteínas, la cual varía en función del pH, por esto, su éxito como coagulantes se deba a la neutralización de la carga negativa de las partículas en suspensión presentes en el agua y formar agregados de gran tamaño que luego pueden separarse por gravedad o, a través del empleo

de sistemas de filtración. En general, las partículas en suspensión que están presentes en las aguas tienen carga negativa, por lo que la incorporación de especies con carga positiva, como los coagulantes a base de proteína pueden desestabilizarlos al formar en conjunto compuestos con carga neutra que luego pueden precipitar (Camacho et al. 2017, p. 227). Este fenómeno también ha sido descrito para proteínas obtenidas a partir de la copra, y que también han sido empleadas como coagulantes; el punto isoeléctrico determinado fue de 7.5, por lo que la eficiencia de esta macromolécula para disminuir la turbidez se asoció con la formación de heteroagregados de compuestos con carga opuesta (Fatombi et al. 2013, p. 35). De esta manera disminuye la turbidez del agua, al segregarse el conjunto de partículas de dimensión coloidal que dispersan la radiación electromagnética en el rango visible.

Además de mejorar de forma visible la calidad del agua, el coagulante presente en la moringa, ha sido probado con éxito para la reducción de los niveles de parásitos endémicos, como el helminto, en aguas que serán destinadas para el riego de cultivos en países tropicales (Sengupta et al. 2012, p. 3646). De esta manera se previenen enfermedades por los problemas higiénicos asociados a la manipulación de alimentos contaminados con microorganismos causantes de enfermedades.

Los almidones tienen propiedades coagulantes para ser empleados en el tratamiento de la turbidez del agua, como se encontró en la revisión realizada. Además, los almidones son los biopolímeros de más bajo costo de producción, no son tóxicos y son biodegradables, lo que los hace atractivos para ser empleados en procesos de tratamiento de aguas (Choy et al. 2016, p. 353). Esto explica el interés en emplear almidones nativos a partir materia prima abundante como la papa, maíz, arroz y trigo (Choy et al. 2016, p. 352), el panapén (Choy et al. 2017, p. 2876), el durio (Yusoff et al. 2018, p. 362) y la yuca (Lugo-Arias, Lugo-Arias, et al. 2020, p. 1).

Otro de los vegetales coagulantes de interés son las pectinas, las cuales son polisacáridos llamados poliácidos o polímeros aniónicos que tienen un alto contenido de ácido D-galacturónico. Recientemente, las pectinas se han utilizado, debido a su biodegradabilidad y no toxicidad para el ser humano y el medio ambiente, como coagulantes naturales y ecológicos en el sector del tratamiento del

agua (Kebaili et al. 2018, p. 292). Lo más relevante de esto, es que estos biopolímeros se pueden obtener a partir de desechos de la industria de la naranja, ya que la cáscara de esta fruta está compuesta principalmente por este polisacárido. Bajo este enfoque, también se han obtenido compuestos coagulantes a partir de los residuos de la parchita y el quimbombó (Muniz, Borges y Silva 2020, p. 1).

Otra de las sustancias coagulantes de interés, son los compuestos polifenólicos, taninos y flavonoides, que pueden interactuar (fuerzas de van der Waals o puentes de hidrógeno) para formar agregados de mayor tamaño que pueden arrastrar las impurezas del agua y ser decantadas o separadas por filtración (Muniz, Silva y Borges 2020, p. 1).

Por otro lado, cuando se tienen en cuenta la dosis óptima de estos compuestos, se encuentran dosis entre 0.2 mg/L hasta los 10,000 mg/L, lo cual está en relación con la naturaleza del coagulante, la forma de extracción y el nivel de contaminación del agua, siendo este parámetro el de mayor relevancia. En ese sentido para el tratamiento de aguas residuales domésticas se han empleado dosis de 400 mg/L de cáscara de plátano (Maurya y Daverey 2018, p. 1); para lixiviados dosis de 5000-6000 mg/L de almidón de sagú (Aziz y Sobri 2015, p. 16943) y para efluentes industriales 800 mg/L de moringa (Desta y Bote 2021, p. 1). Para aguas superficiales se han empleado dosis de 30 mg/L de nopal (Freitas y Sabogal-Paz 2019, p. 2783) y de 200 mg/L de moringa (Freitas et al. 2016, p. 133). Estas dosis son comparables a las que se emplean de sulfato de aluminio, alrededor de 300 mg/L (Gaspar 2021, p. ix), pero evitando los riesgos que supone el aluminio y el tipo de residuo generado. También, y más relevante aún, es que los coagulantes vegetales casi no ameritan ajustes de pH para su efectivo funcionamiento o posteriores, como si lo requiere las aguas tratadas con sales de aluminio que acidifican el agua una vez han sido tratadas.

Cuando se tienen en cuenta las eficiencias de remoción de la turbidez del agua, se observa que los coagulantes vegetales, cuando son aplicados en las condiciones adecuadas, son altamente eficientes, alcanzando valores cercanos al 100% en porcentaje de remoción. En ese sentido, para los coagulantes de tipo proteínas, se han reportado porcentajes de remoción de turbidez de 99% para la moringa

(Muthuraman y Sasikala 2013, p. 1727) y del 96.8% para el coco (Fatombi et al. 2013, p. 35); para los coagulantes de tipo almidón 89.7% para el durio (Yusoff et al. 2018, p. 362); para los coagulantes de tipo polifenol 95.8% para el guásimo (Muniz, Silva y Borges 2020, p. 1), y por último, los que son de tipo pectina 99% (Kebaili et al. 2018, p. 292). Probablemente, las menores eficiencias reportadas para los vegetales coagulantes de tipo almidón se deba a son eléctricamente neutros.

El último de los objetivos propuestos en esta tesis proponía revisar la adecuación del agua tratada con los coagulantes vegetales, en relación con lo establecido en las normas de calidad de agua, al menos en el apartado de turbidez. Como se pudo evidenciar a partir de lo reportado en la literatura consultada, en muchos casos la turbidez alcanzada no cumple con lo establecido en la norma. Probablemente incorporar otros subsistemas adicionales al empleo de los coagulantes vegetales, como filtros de grava y arena, puedan aportar esa disminución necesaria en la turbidez para al menos cumplir en este subapartado en la calidad del agua.

V. CONCLUSIONES

Los coagulantes vegetales constituyen una forma novedosa para el tratamiento del agua, ya que por un lado son económicos y accesibles, y por el otro son ecológicos al generar residuos menos contaminantes y biodegradables. En ese sentido, el empleo de sales de aluminio y los riesgos que supone a la salud del ser humano, impulsan a la comunidad científica en la búsqueda de alternativas al empleo de estas sales, con la misma eficiencia y con menos generación de residuos. Adicionalmente, los coagulantes vegetales no son tóxicos, y su empleo solos o en conjunto con los métodos convencionales de tratamiento prometen mejorar sustancialmente la calidad del vital líquido.

La alta eficiencia observada en los coagulantes vegetales se debe a que son en su mayoría son compuestos con carga eléctrica de tipo proteína, polifenoles y pectina. Dado que la mayoría de las impurezas que contiene el agua se mantienen en suspensión mediante cargas eléctricas, la introducción de los coagulantes vegetales como medio de tratamiento, puede desestabilizar esas partículas promoviendo su separación. La variabilidad observada en las dosis de coagulantes vegetales empleadas en los tratamientos, puede obedecer a la propia forma de obtener y aislar los activos de los vegetales, lo que hace necesario que estos procedimientos sean estandarizados para que los resultados sean más reproducibles, al menos dentro de cierto rango de turbiedad observada en las muestras de agua.

La aplicación de los coagulantes vegetales a diferentes muestras de agua, con distintos grados de contaminación, evidencia la versatilidad de estos compuestos en el tratamiento del agua. Si se tiene en cuenta que las aguas contaminadas pueden contener sustancias orgánicas e inorgánicas en diferente concentración y propiedades fisicoquímicas, se ha demostrado que los coagulantes vegetales pueden coadyuvar en la disminución de la carga de tales contaminantes además de la propia turbidez que fue el tema de investigación en esta tesis.

Por último, los vegetales coagulantes pueden ser idóneos para la disminución de microorganismos patógenos y parásitos presentes en el agua y que pueden enfermar a las personas, pero, su uso no garantiza la disminución de la turbidez por debajo a los valores de calidad establecidos en las normativas internacionales.

VI. RECOMENDACIONES

Dada la diversidad de resultados obtenidos para la aplicación de los coagulantes para el tratamiento de la turbidez del agua, se hace necesario conducir estudios que permitan estandarizar los procedimientos de extracción y condiciones óptimas de aplicación de estos compuestos. De esta manera, se pueden desarrollar protocolos de trabajo, ensayos preliminares al agua y a los coagulantes, que permitan sistematizar la aplicación de estos compuestos.

El empleo de estos compuestos de forma nativa puede ser una alternativa realista a aquellos poblados de bajos recursos y de zonas alejadas que no tienen acceso al agua potable. En ese sentido, los estudios que aplican procedimientos complejos de extracción y modificación química pueden tener un rango de aplicación limitado y no resuelven realmente el problema.

Para las instituciones que regulan la calidad del agua, es apropiado que apliquen estas innovaciones, ya que está demostrado los riesgos que supone el empleo de sales de aluminio en el tratamiento del agua. Por lo menos, se tiene que garantizar que los niveles de Al en el agua tratada son indetectables. Aunque el problema de fondo subyacente, que es el volumen de los lodos y sus toxicidad solo pueden resolverse con la ayuda de los coagulantes vegetales.

REFERENCIAS

1. AHMAD, A., ABDULLAH, S.R.S., HASAN, H.A., OTHMAN, A.R. y ISMAIL, N. 'Izzati, 2021. Potential of local plant leaves as natural coagulant for turbidity removal. *Environmental Science and Pollution Research International*, vol. 29, no. 2, pp. 2579-2587. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-021-15541-7.
2. ALAM, M.W., PANDEY, P., KHAN, F., SOUAYEH, B. y FARHAN, M., 2020. Study to Investigate the Potential of Combined Extract of Leaves and Seeds of *Moringa oleifera* in Groundwater Purification. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 20, pp. E7468. ISSN 1660-4601. DOI 10.3390/ijerph17207468.
3. ANG, W.L. y MOHAMMAD, A.W., 2020. State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, vol. 262, pp. 121267. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121267.
4. ARDILA, S., 2020. *Revisión bibliográfica sistemática de tratamientos de agua potable de bajo costo, para comunidades pequeñas y descentralizadas* [en línea]. Tesis de Pregrado. Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/36918>.
5. ARIAS, F., 2012. *El proyecto de investigación, Introducción a la metodología científica*. 6. Caracas: Episteme. ISBN 980-07-8529-9.
6. AZIZ, H.A. y SOBRI, N.I.M., 2015. Extraction and application of starch-based coagulants from sago trunk for semi-aerobic landfill leachate treatment. *Environmental Science and Pollution Research International*, vol. 22, no. 21, pp. 16943-16950. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-015-4895-7.
7. BAPTISTA, A.T.A., SILVA, M.O., GOMES, R.G., BERGAMASCO, R., VIEIRA, M.F. y VIEIRA, A.M.S., 2017. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* lam and its application in superficial water treatment. *Separation and Purification Technology*, vol. 180, pp. 114-124. ISSN 1383-5866. DOI 10.1016/j.seppur.2017.02.040.

8. BARRETO, J.S.B., VARGAS, D.K.V., RUÍZ, L.E.R. y GOMEZ, S.L.G., 2020. Evaluación de coagulantes Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. *RIAA*, vol. 11, no. 1, pp. 7. ISSN 2145-6453.
9. BAUTISTA, M.Á., 2019. *Uso de harina de Pitahaya (Hylocereus megalanthus (K. Schum. ex Vaupel) Ralf Bauer), Melocactus (Melocactus peruvianus Vaupel) y Penco (Opuntia macbridei Britton & Rose) para remover turbidez en agua sin tratamiento destinada para el consumo humano en la localidad de Florida Pomacochas – Amazonas* [en línea]. Tesis de Pregrado. Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1826>.
10. BAZZO, F.P., SIA, N.B.P., MARÇO, P.H., VALDERRAMA, P., PERON, A.P. y MEDEIROS, F.V. da S., 2021. Multivariate optimization approach applied to natural polymers from *Ceratonia siliqua* L. and *Moringa oleifera* Lam as coagulating/flocculating agents. *Environmental Technology*, pp. 1-10. ISSN 1479-487X. DOI 10.1080/09593330.2021.1943000.
11. BONILLA-CASTRO, E. y RODRÍGUEZ, P., 1997. *Más allá del dilema de los métodos*. Tercera. Bogotá: Norma. ISBN 958-04-8542-9.
12. CABRERA, N., SIMANCAS, E. y 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* [en línea], vol. 16, no. 2. [Consulta: 29 marzo 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612018000200094.
13. CAMA, D.E. y HUASCO, M.G., 2019. *Evaluación de la calidad de agua en la planta de tratamiento de agua potable de Villa Rica – Oxapampa* [en línea]. Tesis de Pregrado. Perú: Universidad Peruana Unión. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2942>.
14. CAMACHO, F.P., SOUSA, V.S., BERGAMASCO, R. y RIBAU TEIXEIRA, M., 2017. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water

- treatment. *Chemical Engineering Journal*, vol. 313, pp. 226-237. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/j.cej.2016.12.031.
15. CANAZA, G.J. y MAMANI, Y., 2020. *Revisión del uso de coagulantes naturales para remoción de turbidez del agua* [en línea]. Tesis de Pregrado. Perú: Universidad Peruana Unión. [Consulta: 28 marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3334>.
 16. CERRÓN, W., 2019. La investigación cualitativa en educación. *Horizonte de la Ciencia*, vol. 9, no. 17.
 17. CHALCHISA, D., MEGERSA, M. y BEYENE, A., 2017. Assessment of the quality of drinking water in storage tanks and its implication on the safety of urban water supply in developing countries. *Environmental Systems Research*, vol. 6, no. 1, pp. 12. ISSN 2193-2697. DOI 10.1186/s40068-017-0089-2.
 18. CHOUMANE, F.Z., BENGUELLA, B., MAACHOU, B. y SAADI, N., 2017. Valorisation of a bioflocculant and hydroxyapatites as coagulation-flocculation adjuvants in wastewater treatment of the steppe in the wilaya of Saida (Algeria). *Ecological Engineering*, vol. 107, pp. 152-159. ISSN 0925-8574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2017.07.013.
 19. CHOY, S.Y., PRASAD, K.M.N., WU, T.Y., RAGHUNANDAN, M.E., YANG, B., PHANG, S.-M. y RAMANAN, R.N., 2017. Isolation, characterization and the potential use of starch from jackfruit seed wastes as a coagulant aid for treatment of turbid water. *Environmental Science and Pollution Research International*, vol. 24, no. 3, pp. 2876-2889. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-016-8024-z.
 20. CHOY, S.Y., PRASAD, K.N., WU, T.Y., RAGHUNANDAN, M.E. y RAMANAN, R.N., 2016. Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal. *Ecological Engineering*, vol. 94, pp. 352-364. ISSN 0925-8574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2016.05.082.
 21. CHUA, S.-C., SHOW, P.L., CHONG, F.-K. y HO, Y.-C., 2020. Lentil waste as novel natural coagulant for agricultural wastewater treatment. *Water Science*

- and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, vol. 82, no. 9, pp. 1833-1847. ISSN 0273-1223. DOI 10.2166/wst.2020.409.
22. CONCYTEC, 2018. *Lineamientos técnicos para la ejecución de proyectos de ciencia, tecnología e innovación tecnológica financiados con recursos públicos provenientes del canon en universidades públicas* [en línea]. 2018. S.l.: s.n. Disponible en: <https://portal.concytec.gob.pe/index.php/guias-y-documentos-de-trabajo/item/263-lineamientos-tnicos-para-la-ejecucion-de-proyectos-cti>.
23. COOPER, H., HEDGES, L. y VALENTINE, J., 2009. *The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis* [en línea]. Segunda. New York: Sage. [Consulta: 4 enero 2022]. Disponible en: <https://www.russellsage.org/publications/handbook-research-synthesis-and-meta-analysis-second-edition>.
24. CRUZ, N. y CENTENO, E., 2020. Evaluación de la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable a partir de la percepción de personas usuarias: El caso en Cartago, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 54, no. 1, pp. 95-122. ISSN 2215-3896. DOI 10.15359/rca.54-1.6.
25. DAVEREY, A., TIWARI, N. y DUTTA, K., 2018. 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 International*, vol. 26, no. 33, pp. 34177-34183. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-018-3850-9.
26. DE OLIVEIRA CARDOSO NASCIMENTO, C., VEIT, M.T., PALÁCIO, S.M. y DA CUNHA GONÇALVES, G., 2021. Use of Natural Coagulants in the Removal of Color and Turbidity from Laundry Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 232, no. 7, pp. 300. ISSN 1573-2932. DOI 10.1007/s11270-021-05253-6.
27. DESTA, W.M. y BOTE, M.E., 2021. Wastewater treatment using a natural coagulant (*Moringa oleifera* seeds): optimization through response surface

- methodology. *Heliyon*, vol. 7, no. 11, pp. e08451. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2021.e08451.
28. EDOKPAYI, J.N., ODIYO, J.O., POPOOLA, E.O. y MSAGATI, T.A.M., 2018. Evaluation of Microbiological and Physicochemical Parameters of Alternative Source of Drinking Water: A Case Study of Nzhelele River, South Africa. *The Open Microbiology Journal*, vol. 12, pp. 18-27. ISSN 1874-2858. DOI 10.2174/1874285801812010018.
29. FATOMBI, J.K., LARTIGES, B., AMINOU, T., BARRES, O. y CAILLET, C., 2013. A natural coagulant protein from copra (*Cocos nucifera*): Isolation, characterization, and potential for water purification. *Separation and Purification Technology*, vol. 116, pp. 35-40. ISSN 1383-5866. DOI 10.1016/j.seppur.2013.05.015.
30. FREITAS, B.L. y SABOGAL-PAZ, L.P., 2019. Pretreatment using *Opuntia cochenillifera* followed by household slow sand filters: technological alternatives for supplying isolated communities. *Environmental Technology*, vol. 41, no. 21, pp. 2783-2794. ISSN 1479-487X. DOI 10.1080/09593330.2019.1582700.
31. FREITAS, J.H.E.S., DE SANTANA, K.V., DO NASCIMENTO, A.C.C., DE PAIVA, S.C., DE MOURA, M.C., COELHO, L.C.B.B., DE OLIVEIRA, M.B.M., PAIVA, P.M.G., DO NASCIMENTO, A.E. y NAPOLEÃO, T.H., 2016. Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. *Chemosphere*, vol. 163, pp. 133-141. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.08.019.
32. GARCÍA, J., 2020. *Eficiencia del sulfato de aluminio y Aloe Vera en la turbidez del agua de San Roque de Cumbaza, 2019* [en línea]. Tesis de Pregrado. Perú: Universidad César Vallejo. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55232>.
33. GASPAR, F., 2021. *Reducción de la turbidez de las aguas del rio Shullcas, utilizando penca de Tuna y Sulfato de Aluminio en el proceso de coagulación para el tratamiento de agua potable* [en línea]. Tesis de Pregrado. Perú:

Universidad César Vallejo. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71799>.

34. GODOY, V., 2018. *Análisis comparativo de la disminución de la turbidez en el proceso de floculación utilizando un floculante comercial y la paleta de tuna*. Tesis de Pregrado. Perú: Universidad Privada del Norte.
35. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P., 2010. *Metodología de la Investigación*. Quinta. México D. F.: McGraw-Hill.
36. HUSSAIN, S., GHOURI, A.S. y AHMAD, A., 2019. Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water. *Heliyon*, vol. 5, no. 3, pp. e01420. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2019.e01420.
37. JAMSHIDI, A., REZAEI, ., HASSANI, ., FIROOZI, Z., GHAFFARI, Hr. y SADEGHI, ., 2020. Coagulating potential of Iranian oak (*Quercus Branti*) extract as a natural coagulant in turbidity removal from water. *Journal of environmental health science & engineering* [en línea], vol. 18, no. 1. [Consulta: 14 abril 2022]. ISSN 2052-336X. DOI 10.1007/s40201-020-00449-0. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32399229/>.
38. KAPSE, G. y SAMADDER, S.R., 2021. Moringa oleifera seed defatted press cake based biocoagulant for the treatment of coal beneficiation plant effluent. *Journal of Environmental Management*, vol. 296, pp. 113202. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.113202.
39. KEBAILI, M., DJELLALI, S., RADJAI, M., DROUICHE, N. y LOUNICI, H., 2018. Valorization of orange industry residues to form a natural coagulant and adsorbent. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 64, pp. 292-299. ISSN 1226-086X. DOI 10.1016/j.jiec.2018.03.027.
40. KELLALI, Y. y GHERNAOUT, D., 2019. Physicochemical and Algal Study of Three Dams (Algeria) and Removal of Microalgae by Enhanced Coagulation. *Applied Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 56. ISSN 2019-0301. DOI 10.11648/j.ae.20190301.17.
41. KEOGH, M.B., ELMUSHARAF, K., BORDE, P. y MCGUIGAN, K.G., 2017. Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for

- SODIS in contaminated turbid water. *Solar Energy*, vol. 158, pp. 448-454. ISSN 0038-092X. DOI 10.1016/j.solener.2017.10.010.
42. KUMAR, V., 2020. Partial Replacement of Alum by Using Natural Coagulant Aid to Remove Turbidity from Institutional Wastewater. *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 12, no. 4, pp. 241-251. ISSN 2600-7916.
43. LAPOINTE, M., FARNER, J.M., HERNANDEZ, L.M. y TUFENKJI, N., 2020. Understanding and Improving Microplastic Removal during Water Treatment: Impact of Coagulation and Flocculation. *Environmental Science & Technology*, vol. 54, no. 14, pp. 8719-8727. ISSN 0013-936X. DOI 10.1021/acs.est.0c00712.
44. LÓPEZ, M., 2018. *Evaluación del uso de la cactácea Opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas* [en línea]. Tesis de Pregrado. Perú: Universidad Agraria Nacional La Molina. [Consulta: 28 marzo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3541>.
45. LUGO-ARIAS, J., BURGOS-VERGARA, J., LUGO-ARIAS, E., GOULD, A. y OVALLOS-GAZABON, D., 2020. Evaluation of low-cost alternatives for water purification in the stilt house villages of Santa Marta's Ciénaga Grande. *Heliyon*, vol. 6, no. 1, pp. e03062. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2019.e03062.
46. LUGO-ARIAS, J., LUGO-ARIAS, E., OVALLOS-GAZABON, D., ARANGO, J., DE LA PUENTE, M. y SILVA, J., 2020. Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, vol. 6, no. 6, pp. e04296. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e04296.
47. MAHMOOD, W., ISMAIL, A.H. y SHAREEF, M.A., 2019. Assessment of potable water quality in Balad city, Iraq. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 518, no. 2, pp. 022002. ISSN 1757-899X. DOI 10.1088/1757-899X/518/2/022002.

48. MANHOLER, D.D., DE SOUZA, M.T.F., AMBROSIO, E., FREITAS, T.K.F. de S., GERALDINO, H.C.L. y GARCIA, J.C., 2019. Coagulation/flocculation of textile effluent using a natural coagulant extracted from *Dillenia indica*. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, vol. 80, no. 5, pp. 979-988. ISSN 0273-1223. DOI 10.2166/wst.2019.342.
49. MARÍN, A., HERNÁNDEZ, E. y FLORES, J., 2016. Metodología para el análisis de datos cualitativos en investigaciones orientadas al aprovechamiento de fuentes renovables de energía. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, vol. 1, no. 1 (Enero-Junio), pp. 60-75. ISSN 2542-3088.
50. MAURYA, S. y DAVEREY, A., 2018. Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. *3 Biotech*, vol. 8, no. 1, pp. 77. ISSN 2190-572X. DOI 10.1007/s13205-018-1103-8.
51. MOHAMED, M.H., LEE, W.J., MOHD AZLI, M.F.Z., NGADI, N. y MOHAMED, M., 2021. Moringa oleifera extract as green coagulant for POME Treatment: Preliminary studies and sludge evaluation. *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 1940-1947. ISSN 2214-7853. DOI 10.1016/j.matpr.2021.02.241.
52. MOHD, R., MOHAMED, R., AL-GHEETHI, A., PAHAZRI, F., HASHIM, A.-H. y MOHD, N.-S., 2018. Sequestering of pollutants from public market wastewater using *Moringa oleifera* and *Cicer arietinum* flocculants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 2417-2428. ISSN 2213-3437. DOI 10.1016/j.jece.2018.03.035.
53. MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D.G., ALTMAN, D., ANTES, G., ATKINS, D., BARBOUR, V., BARROWMAN, N., BERLIN, J.A., CLARK, J., CLARKE, M., COOK, D., D'AMICO, R., DEEKS, J.J., DEVEREAUX, P.J., DICKERSIN, K., EGGER, M., ERNST, E., GØTZSCHE, P.C., GRIMSHAW, J., GUYATT, G., HIGGINS, J., IOANNIDIS, J.P.A., KLEIJNEN, J., LANG, T., MAGRINI, N., MCNAMEE, D., MOJA, L., MULROW, C., NAPOLI, M., OXMAN, A., PHAM, B., RENNIE, D., SAMPSON, M., SCHULZ, K.F., SHEKELLE, P.G., TOVEY, D. y TUGWELL,

- P., 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement (Chinese edition). *Journal of Chinese Integrative Medicine*, vol. 7, no. 9, pp. 889-896. ISSN 1672-1977. DOI 10.3736/jcim20090918.
54. MOREIRA, J. y MOREIRA, C., 2022. Aplicación de coagulantes naturales obtenidos de las semillas de habas (*Vicia faba*) y durazno (*Prunus persica*) en la potabilización del agua. *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, vol. 9, no. 1, pp. 54-67. ISSN 2313-7819.
55. MUNIZ, G.L., BORGES, A.C. y SILVA, T.C.F. da, 2020. Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 37, pp. 101453. ISSN 2214-7144. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101453.
56. MUNIZ, G.L., SILVA, T.C.F. da y 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*, vol. 744, pp. 140864. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.140864.
57. MUTHURAMAN, G. y SASIKALA, S., 2013. Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 20, no. 4, pp. 1727-1731. ISSN 1226-086X. DOI 10.1016/j.jiec.2013.08.023.
58. NARUKA, A.K., SUGANYA, S., KUMAR, P.S., AMIT, C., ANKITA, K., BHATT, D. y KUMAR, M.A., 2021. Kinetic modelling of high turbid water flocculation using native and surface functionalized coagulants prepared from shed-leaves of *Avicennia marina* plants. *Chemosphere*, vol. 272, pp. 129894. ISSN 1879-1298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.129894.
59. NECIOSUP, A.R.N., RAMOS, I.V. y BURGOS, M.A.N., 2019. Influencia del peso y tiempo de agitación de coagulantes naturales en la remoción de turbiedad del agua del río Pollo-Otuzco. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN ESTADÍSTICA* [en línea], vol. 2, no. 1. [Consulta: 28 marzo 2022]. ISSN 2708-1125. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REDIES/article/view/2821>.

60. PANDEY, P., KHAN, F., MISHRA, R. y 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: A Research Publication of the Water Environment Federation*, vol. 92, no. 7, pp. 1051-1056. ISSN 1554-7531. DOI 10.1002/wer.1300.
61. POUMAYE, N., MABINGUI, J., LUTGEN, P. y BIGAN, M., 2012. Contribution to the clarification of surface water from the Moringa oleifera: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 90, no. 12, pp. 2346-2352. ISSN 0263-8762. DOI 10.1016/j.cherd.2012.05.017.
62. PULGARIN-MONTOYA, D., DE PLAZA-S., D., RUGE-C., J. y ROCHA DE ALBUQUERQUE, P., 2021. Análisis de la bondad de ajuste del modelo de San para el cálculo del porcentaje de remoción de partículas floculentas con valores bajos de turbiedad inicial en el agua problema. *DYNA*, vol. 88, no. 219, pp. 28-34. ISSN 0012-7353.
63. RACHDI, R., SRARFI, F. y SHIMI, N.S., 2017. Cactus Opuntia as natural flocculant for urban wastewater treatment. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, vol. 76, no. 7-8, pp. 1875-1883. ISSN 0273-1223. DOI 10.2166/wst.2017.370.
64. ROJAS, D. y BAZURTO, C., 2020. *Optimización en los sistemas de Floculación-Coagulación-Sedimentación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable "La Pola", durante temporada invernal* [en línea]. Tesis de Pregrado. Colombia: Universidad Católica de Colombia. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24887>.
65. SALAZAR GÁMEZ, L.L., LUNA-DELRISSCO, M. y CANO, R.E.S., 2015. Comparative study between M. oleifera and aluminum sulfate for water treatment: case study Colombia. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 187, no. 10, pp. 668. ISSN 1573-2959. DOI 10.1007/s10661-015-4793-y.

66. SALEEM, M. y BACHMANN, R.T., 2019. A contemporary review on plant-based coagulants for applications in water treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 72, pp. 281-297. ISSN 1226-086X. DOI 10.1016/j.jiec.2018.12.029.
67. SAMANIEGO, H.H., ESQUIVEL, S.E.A., BUJAICO, R.W.R. y BUJAICO, J.F.R., 2020. Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú. *UCV-Scientia*, vol. 12, no. 1, pp. 9-23. ISSN 2410-891X. DOI 10.18050/revucv-scientia.v12i1.920.
68. SANTOS, T.R.T., SILVA, M.F., NISHI, L., VIEIRA, A.M.S., FAGUNDES-KLEN, M.R., ANDRADE, M.B., VIEIRA, M.F. y BERGAMASCO, R., 2016. Development of a magnetic coagulant based on Moringa oleifera seed extract for water treatment. *Environmental Science and Pollution Research International*, vol. 23, no. 8, pp. 7692-7700. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-015-6029-7.
69. SARASWATHI, R. y SASEETHARAN, M.K., 2012. Simultaneous optimization of multiple performance characteristics in coagulation-flocculation process for Indian paper industry wastewater. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, vol. 66, no. 6, pp. 1231-1238. ISSN 0273-1223. DOI 10.2166/wst.2012.304.
70. SARITHA, V., KARNENA, M.K. y DWARAPUREDDI, B.K., 2019. "Exploring natural coagulants as impending alternatives towards sustainable water clarification" – A comparative studies of natural coagulants with alum. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 32, pp. 100982. ISSN 2214-7144. DOI 10.1016/j.jwpe.2019.100982.
71. SENGUPTA, M.E., KERAITA, B., OLSEN, A., BOATENG, O.K., THAMSBORG, S.M., PÁLSDÓTTIR, G.R. y DALSGAARD, A., 2012. Use of Moringa oleifera seed extracts to reduce helminth egg numbers and turbidity in irrigation water. *Water Research*, vol. 46, no. 11, pp. 3646-3656. ISSN 1879-2448. DOI 10.1016/j.watres.2012.04.011.

72. SIERRA-JULIO, A., NAVARRO-SILVA, A., MERCADO-MARTÍNEZ, I., FLÓREZ-VERGARA, A. y JURADO-ERASO, M., 2019. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 4, pp. 131-138. ISSN 2145-8456, 1657-4583.
73. SKOVSMOSE, O., 2000. Escenarios de investigación. *Revista EMA*, vol. 6, no. 1, pp. 3-26. ISSN 0122-5057.
74. TAIWO, A.S., ADENIKE, K. y ADERONKE, O., 2020. Efficacy of a natural coagulant protein from *Moringa oleifera* (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria. *Heliyon*, vol. 6, no. 1, pp. e03335. ISSN 2405-8440. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e03335.
75. TARRILLO, H.K. y TERNORIO, M.B., 2020. *Eficiencia del coagulante-floculante Tuna (Opuntia ficus) para la clarificación de las aguas de la acequia el pueblo de Ferreñafe-2019* [en línea]. Tesis de Pregrado. Perú: Universidad de Lambayeque. [Consulta: 28 marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.udl.edu.pe/jspui/handle/UDL/331>.
76. THIRUGNANASAMBANDHAM, K. y KARRI, R.R., 2021. Preparation and characterization of *Azadirachta indica* A. Juss. plant based natural coagulant for the application of urban sewage treatment: Modelling and cost assessment. *Environmental Technology & Innovation*, vol. 23, pp. 101733. ISSN 2352-1864. DOI 10.1016/j.eti.2021.101733.
77. VELASCO, L.F., 2016. *Optimización del sistema de tratamientos de agua potable del cantón Mocha*. [en línea]. Tesis de Pregrado. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 22 marzo 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6488>.
78. WAMBUI MUMBI, A., FENGTING, L. y KARANJA, A., 2018. Sustainable treatment of drinking water using natural coagulants in developing countries: A case of informal settlements in Kenya. *Water Utility Journal*, vol. 18, pp. 1-11. DOI 10.13140/RG.2.2.21105.94563.

79. YUSOFF, M.S., AZIZ, H.A., ZAMRI, M.F.M.A., SUJA', F., ABDULLAH, A.Z. y BASRI, N.E.A., 2018. Floc behavior and removal mechanisms of cross-linked Durio zibethinus seed starch as a natural flocculant for landfill leachate coagulation-flocculation treatment. *Waste Management (New York, N.Y.)*, vol. 74, pp. 362-372. ISSN 1879-2456. DOI 10.1016/j.wasman.2018.01.016.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de categorización apriorística

Ámbito temático	Problema de investigación	Preguntas de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Categoría	Subcategorías
Eficiencia de los vegetales coagulantes para la minimización de turbidez en el tratamiento de agua: Revisión Sistemática de los últimos 10 años.	Desventajas vinculadas al uso de coagulantes químicos, entre los cuales destacan el costo, riesgos para la salud humana y la producción de residuos difíciles de tratar. Asimismo, la introducción de coagulantes naturales vegetales ha conllevado a que se realicen estudios de investigación de algunas de estas especies, para establecer la eficiencia y las condiciones en que esto ocurre.	¿Cómo es la eficiencia de coagulantes vegetales en el tratamiento de aguas para tratar la turbidez?	Evaluar la eficiencia de los vegetales coagulantes en el tratamiento de aguas para tratar la turbidez	O.E.1 Establecer el tipo de coagulantes vegetales que se emplean para tratar la turbidez del agua.	Tipo de coagulantes vegetales	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de vegetal - Parte de la planta - Tipo de molécula del coagulante
				O.E.2 Determinar la dosis óptima de coagulantes vegetales para tratar la turbidez del agua.	Dosis óptima del coagulante vegetal	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de coagulante añadido - Condiciones óptimas de coagulación
				O.E.3 Establecer la eficiencia de los coagulantes vegetales para tratar la turbidez del agua.	Eficiencia de disminución de la turbidez	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la turbidez
				O. E. 4 Verificar el cumplimiento de las normas de calidad con respecto a la turbidez para las aguas tratadas con coagulantes vegetales.	Turbidez del agua	<ul style="list-style-type: none"> - Normas de calidad de agua nacionales e internacionales según el tipo de agua

ANEXO 2.

Categoría, subcategorías y criterios

Categoría	Subcategorías	Criterios
Tipo de coagulantes vegetales	<ul style="list-style-type: none">- Tipo de vegetal- Parte de la planta- Tipo de molécula del coagulante	<ul style="list-style-type: none">- Especie vegetal- Forma de extracción- Semilla, tallo, corteza, mucílago- Naturaleza química de la molécula (proteína, polisacárido, ácidos orgánicos)- Referencia
Dosis óptima del coagulante vegetal	<ul style="list-style-type: none">- Cantidad de coagulante añadido- Condiciones óptimas de coagulación	<ul style="list-style-type: none">- Concentración del coagulante (mg/L)- pH del agua- Temperatura- Turbidez inicial- Tipo de agua- Referencia
Eficiencia de disminución de la turbidez	<ul style="list-style-type: none">- Reducción de la turbidez	<ul style="list-style-type: none">- Especie vegetal- % Eficiencia de remoción- Referencia
Turbidez del agua	<ul style="list-style-type: none">- Normas de calidad de agua nacionales e internacionales según el tipo de agua	<ul style="list-style-type: none">- Nombre de la norma- Valores de turbidez permitidos (NTU)- Turbidez inicial del agua- Turbidez final del agua- Referencia

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3

Tipo de Coagulante Vegetal

Ítem	Especie vegetal	Parte de la planta	Forma de extracción	Naturaleza química de la molécula	Referencia
1	Moringa oleifera	Semillas	Desgrasado de la semilla con hexano; turbolisis por 30 min con agua destilada	Proteína (globulina, albúmina)	Baptista et al. (2017)
2	Moringa oleifera	Semillas	En polvo, desgrasado con etano, con una técnica presurizada y con solución de NaCl	NI	Camacho et al. (2017)
3	Maiz, Trigo, Papa y Arroz	Adquirido de una casa comercial	Gelatinizado y no gelatinizado, con autoclave	Almidón	Choy et al. (2016)
4	Cocos nucifera (coco)	Endospermo	Extracción con agua, precipitación de la caseína en medio ácido y desgrasado con hexano	Proteína (caseína)	Fatombi et al. (2013)
5	Moringa oleifera	Semillas	Extracción con agua de la proteína de la harina de semilla y posterior purificación.	Proteína (lectina)	Freitas et al. (2016)
6	Moringa oleifera	Semillas	Material derivado del procesamiento de la semilla. Extracción con agua	Proteína	Kaspe y Samadder (2021)
7	Naranja	Cáscara	Se extrajo en solución a pH 1.5, a 80-82 C por 1 h	Peptina	Kebaili et al. (2018)
8	Moringa oleifera	Semillas	Polvo de semillas o filtrado de las semillas		Keogh et al. (2017)
9	Moringa oleifera	Semillas	Extracción del coagulante de las semillas con agua o con solución salina de cloruro de calcio	Proteínas	Mohamed et al. (2021)
10	M. oleifera y C. arietinum	Semillas	Extracción acuosa de los coagulantes	Proteínas	Mohd et al. (2018)

Ítem	Especie vegetal	Parte de la planta	Forma de extracción	Naturaleza química de la molécula	Referencia
11	Abelmoschus esculentus y Passiflora edulis	Semillas	Molienda de las semillas y tamizado a un tamaño de partícula inferior a 1 micra	Polisacáridos/Lípidos	Muniz et al. (2020)
12	Guazuma ulmifolia	Corteza del tallo	Secado, molido y tamizado de la corteza del árbol.	Taninos condensados y flavonoides	Muniz et al. (2020)
13	Moringa oleifera, Strychnos potatorum y Phaseolus vulgaris	Semillas	Molienda y extracción de los coagulantes con agua, solución de cloruro de sodio y solución de hidróxido de sodio	No indican	Muthuraman y Sasikala (2013)
14	Moringa oleifera	Semillas	Polvo de semillas	No indican	Poumaye et al. (2012)
15	Moringa oleifera	Semillas	Polvo de semillas y extracción con agua del coagulante	Proteínas	Sengupta et al. (2012)
16	Azadirachta indica A. Juss.	Hojas	Polvo de las hojas secas	Anillos aromáticos, grupos hidroxilo, y carbonilo de los ácidos	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
17	Lenteja	Semillas	Semillas de lentejas pulverizadas. Extracto con agua (LE). Extracto modificado químicamente (LE-g)		Chua et al. (2020)
18	A. indica, S. palustris, D. linearis, S. polyanthum, M. esculenta, P. sarmentosum, y M. malabathricum	Hojas	Polvo de las hojas secas y extracción con agua de los coagulantes	No indican	Ahmad et al. (2021)
19	Panapén	Semillas	Pulverizado de la semilla y extracción del almidón con solución alcalina	Almidón	Choy et al. (2016)
20	Ceratonia siliqua L. y Moringa oleifera	Semillas	Polvo seco de las semillas, desgrasado con etanol	No indican	Bazzo et al. (2021)

Ítem	Especie vegetal	Parte de la planta	Forma de extracción	Naturaleza química de la molécula	Referencia
21	Sagú	Tronco	Extracción del almidón con metabisulfito de sodio	Almidón	Aziz y Sobri (2015)
22	Quercus Branti	Fruto	Pulverización del fruto y extracción del coagulante con etanol	No indican	Jamshidi et al. (2020)
23	Moringa oleifera	Semillas	Polvo de la semilla	No indican	Desta y Bote (2021)
24	Musa paradisica y Dolichos lablab	Cáscara (banana) y semillas (frijol indio)	Pulverización de los materiales y preparación de extracto acuoso.	Carbohidratos y proteínas	Daverey et al. (2018)
25	Pino	Conos o piñas	Pulverización del material	No indican	Hussain et al. (2020)
26	Moringa oleifera	Hojas y semillas	Pulverización del material y extracción con hexano a mezclas equivalentes de hojas y semillas	No indican	Alam et al. (2020)
27	Opuntia ficus-indica	Cactus	Se cortaba en trozos pequeños y se obtenía un extracto		Rachdi et al. (2017)
28	Dillenia indica	Fruta	Se extrajo el coagulante del mucílago de la fruta.	Polisacáridos	Manholer et al. (2019)
29	Plátano, Papaya y Neem	Cáscara, tallo, semillas y hojas	Polvo de cáscara de plátano, extracto de tallo de plátano, polvo de semilla de papaya y polvo de hoja de neem.	Cáscara de plátano: ácido, hidróxido y aminos	Maurya y Daverey (2018)
30	Moringa oleifera y Cassia Fistula	Semillas	Se pulverizaron las semillas y se preparó un extracto acuoso de los coagulantes	No indican	Lugo-Arias et al. (2020)
31	Nopal y yuca	Nopal y yuca	Se extrajo el mucílago del nopal y el almidón de yuca fue adquirido en un comercio	Almidón	Lugo-Arias et al. (2020)
32	Durio zibethinus	Semilla	Extracción del almidón y modificación química posterior (unión cruzada)	Almidón	Yussof et al. (2018)
33	Moringa oleifera	Hojas	Pulverización de la hoja y extracción con hexano, etanol o metanol	No indican	Pandey et al. (2020)
34	Avicennia marina	Hojas	Pulverización de la hoja y tratamiento con HCl	Moléculas con grupos hidróxido, carbonilo y amino	Naruka et al. (2021)

Ítem	Especie vegetal	Parte de la planta	Forma de extracción	Naturaleza química de la molécula	Referencia
35	Moringa oleifera	Semillas	Polvo de semilla, solución salina y libre de aceite	No indican	Salazar Gámez et al. (2015)
36	Moringa oleifera	Semillas	Polvo de la semilla funcionalizado con nanopartículas magnéticas de óxido de hierro	Coagulante con propiedades magnéticas	Santos et al. (2016)
37	Moringa oleifera	Semillas	Extracto purificado por intercambio iónico y filtración en gel	Proteína	Taiwo et al. (2020)
38	Opuntia cochenillifera	Penca	Polvo extraído de la penca	No indican	Freitas et al. (2019)
39	V. faba	-	Extracto comercial	No indican	Saraswathi y Saseetharan (2012)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4

Dosis óptima de coagulante

Ítem	C (mg/L)	pH del agua	Temperatura	Turbidez inicial (NTU)	Tipo de agua	Referencia
1	13	7.9	-	50	Aguas superficiales	Baptista et al. (2017)
2	50	7.8	-	30-60	Aguas superficiales	Camacho et al. (2017)
3	120	4.0	-	165	Suspensión de caolinita	Choy et al. (2016)
4	80-100	8.0	-	-	Suspensiones de sílice	Fatombi et al. (2013)
5	0.2	7.39	-	37.95	Agua de río	Freitas et al. (2016)
6	-	7.9-8.5	-	1387-1500	Efluente de mina	Kaspe y Samadder (2021)
7	6	3	-	500	Suspensión de bentonita	Kebaili et al. (2018)
8	200-300		21-37	200	Suspensión de terracota	Keogh et al. (2017)
9	3000	-	-	273	Efluente industrial	Mohamed et al. (2021)
10	180	8.0	-	9.96-187	Agua residual	Mohd et al. (2018)
11	2000-1300	9-5	-	698	Agua residual sintética	Muniz et al. (2020)
12	775.8	5.0	-	698	Agua residual sintética	Muniz et al. (2020)
13	250-1000	7	-	100-500	Suspensión de caolinita	Muthuraman y Sasikala (2013)
14	16000	7.4	-	125	Agua de río	Poumaye et al. (2012)
15	-	5.5 - 7.3		>150	Agua de riego	Sengupta et al. (2012)

Ítem	C (mg/L)	pH del agua	Temperatura	Turbidez inicial (NTU)	Tipo de agua	Referencia
16	4000	4.5	-	1013	Aguas residuales urbanas	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
17	88.46-63.08	4.0-6.7	-	890	Aguas residuales agrícolas	Chua et al. (2020)
18	5000-10000	-	-	500	Suspensión de caolinita	Ahmad et al. (2021)
19	60 (2.1 Al)	-	-	165.5	Suspensión de caolinita	Choy et al. (2016)
20	2000	11	-	83.7-178	Agua no tratada	Bazzo et al. (2021)
21	5000-6000	6	-	263	Lixiviados	Aziz y Sobri (2015)
22	62.6	5.6-7.5	-	20-250	Suspensión de caolinita	Jamshidi et al. (2020)
23	800	7-9	-	-	Aguas residuales	Desta y Bote (2021)
24	-	3-12; < 5 o > 9	-	62	Suspensión de caolinita	Daverey et al. (2018)
25	-	2 o 12	-	67-71	Suspensión de caolinita	Hussain et al. (2020)
26	25-100	8.4	-	14.4	Aguas subterráneas	Alam et al. (2020)
27	-	7.54	-	296	Agua residual doméstica	Rachdi et al. (2017)
28	9.43 (10.72 Fe)	5.0	-	-	Efluente de Textiles	Manholer et al. (2019)
29	400	-	-	-	Agua residual doméstica	Maurya y Daverey (2018)
30		7.4-7.2	-	662-645	Agua de río	Lugo-Arias et al. (2020)
31	-	7.4-7.8	-	316; 80	Agua de río	Lugo-Arias et al. (2020)

Ítem	C (mg/L)	pH del agua	Temperatura	Turbidez inicial (NTU)	Tipo de agua	Referencia
32	400	5.0	-	242	Lixiviados de vertedero	Yussof et al. (2018)
33	150	8.2	-	15.6	Aguas subterráneas	Pandey et al. (2020)
34	1000		-	15.15-16.36	Suspensión de lodo y almidón	Naruka et al. (2021)
35	62.5 - 219		-	47-3050	Aguas superficiales	Salazar Gámez et al. (2015)
36	10 - Fe; 400 - Mo	-	-	79	Aguas superficiales	Santos et al. (2016)
37	60	-	-	41.19	Aguas superficiales	Taiwo et al. (2020)
38	30	6.8	-	111	Aguas superficiales	Freitas et al. (2019)
39	500	9.0	-	230	Efluente industrial	Saraswathi y Saseetharan (2012)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5

Disminución de la turbidez

Ítem	Especie vegetal	% Eficiencia de remoción	Referencia
1	Moringa oleifera	89.71	Baptista et al. (2017)
2	Moringa oleifera	85	Camacho et al. (2017)
3	Maiz, Trigo, Papa y Arroz	50	Choy et al. (2016)
4	Cocos nucifera (coco)	96.8	Fatombi et al. (2013)
5	Moringa oleifera	96.8	Freitas et al. (2016)
6	Moringa oleifera	97.48	Kaspe y Samadder (2021)
7	Naranja	99	Kebaili et al. (2018)
8	Moringa oleifera	87	Keogh et al. (2017)
9	Moringa oleifera	80	Mohamed et al. (2021)
10	M. oleifera y C. arietinum	86.24; 80.02	Mohd et al. (2018)
11	Abelmoschus esculentus y Passiflora edulis	91.1; 91.5	Muniz et al. (2020)
12	Guazuma ulmifolia	95.8	Muniz et al. (2020)
13	Moringa oleifera, Strychnos potatorum y Phaseolus vulgaris	99; 90; 95	Muthuraman y Sasikala (2013)
14	Moringa oleifera	98-99.75	Poumaye et al. (2012)
15	Moringa oleifera	85-96	Sengupta et al. (2012)
16	Azadirachta indica A. Juss.	73	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
17	Lenteja	99.5-99.83	Chua et al. (2020)
18	A. indica, S. palustris, D. linearis, S. polyanthum, M. esculenta, P. sarmentosum, and M. malabathricum	24.2 (P. Sarmentosum)	Ahmad et al. (2021)
19	Panapén	55	Choy et al. (2016)
20	Ceratonia siliqua L. y Moringa oleifera	85; 90	Bazzo et al. (2021)

Ítem	Especie vegetal	% Eficiencia de remoción	Referencia
21	Sagú	98.9	Aziz y Sobri (2015)
22	Quercus Branti	63.5	Jamshidi et al. (2020)
23	Moringa oleifera	98-99.5	Desta y Bote (2021)
24	Musa paradisica y Dolichos lablab	95.13; 87.81	Daverey et al. (2018)
25	Pino	77	Hussain et al. (2020)
26	Moringa oleifera	56.9	Alam et al. (2020)
27	Opuntia ficus-indica	93.65	Rachdi et al. (2017)
28	Dillenia indica	96.86	Manholer et al. (2019)
29	Plátano, Papaya y Neem	59.6	Maurya y Daverey (2018)
30	Moringa oleifera y Cassia Fistula	96; 70	Lugo-Arias et al. (2020)
31	Nopal y yuca	47-67	Lugo-Arias et al. (2020)
32	Durio zibethinus	89.7	Yussof et al. (2018)
33	Moringa oleifera	60.2	Pandey et al. (2020)
34	Avicennia marina	90-94	Naruka et al. (2021)
35	Moringa oleifera	90-99.9	Salazar Gámez et al. (2015)
36	Moringa oleifera	90	Santos et al. (2016)
37	Moringa oleifera	40.8	Taiwo et al. (2020)
38	Opuntia cochenillifera	93	Freitas et al. (2019)
39	V. faba	53.7	Saraswathi y Saseetharan (2012)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6

Nivel de turbidez del agua

Ítem	Nombre de la norma	Valores de turbidez permitidos (NTU)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Referencia
1	OMS	5	50	5.14	Baptista et al. (2017)
2	OMS	5	30-60	4.5-9.0	Camacho et al. (2017)
3	-	-	165	82	Choy et al. (2016)
4	-	-	-	8	Fatombi et al. (2013)
5	CONAMA Resolución 357	40	37.95	1.2	Freitas et al. (2016)
6	-	-	1387-1500		Kaspe y Samadder (2021)
7	-	-	500	1.7	Kebaili et al. (2018)
8	-	30	200	26	Keogh et al. (2017)
9	DOE (Malasia)	-	273	54.6	Mohamed et al. (2021)
10	-	-	9.96-187	2.03-2.98	Mohd et al. (2018)
11	-	-	698	62.82	Muniz et al. (2020)
12	-	-	698	29.32	Muniz et al. (2020)
13	WHO	10	100-500	50-5	Muthuraman y Sasikala (2013)
14	OMS	5	125	2.2-1.72	Poumaye et al. (2012)
15	USEPA	2	>150	7-11	Sengupta et al. (2012)
16	-	-	1013	273.5	Thirugnanasambandham y Karri (2021)
17	-	-	890	8	Chua et al. (2020)
18	-	-	500	379	Ahmad et al. (2021)
19	-	-	165.5	75.3	Choy et al. (2016)
20	-	-	83.7-178	8.4-26.7	Bazzo et al. (2021)
21	-	-	263	0.263	Aziz y Sobri (2015)

Ítem	Nombre de la norma	Valores de turbidez permitidos (NTU)	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Referencia
22	-	-	20-250	7.3-91.25	Jamshidi et al. (2020)
23	-	-	-	-	Desta y Bote (2021)
24	-	-	62	3.0-7.6	Daverey et al. (2018)
25	-	-	67-71	15.4-16.3	Hussain et al. (2020)
26	-	-	14.4	6.2	Alam et al. (2020)
27	-	-	296	18.6	Rachdi et al. (2017)
28	-	-	-	-	Manholer et al. (2019)
29	-	-	-	-	Maurya y Daverey (2018)
30	Ley Colombiana	2	662-645	6.9-9.1	Lugo-Arias et al. (2020)
31	-	-	316; 80	167; 26	Lugo-Arias et al. (2020)
32			242	24.93	Yussof et al. (2018)
33	WHO	6	15.6	6.1	Pandey et al. (2020)
34	WHO	1	15.15-16.36	7.1	Naruka et al. (2021)
35	-	-	47-3050	5 - 2.5	Salazar Gámez et al. (2015)
36	-	-	79	7.9	Santos et al. (2016)
37	Estándar Nigeriano para agua potable	5	41.19	23.51	Taiwo et al. (2020)
38	-	-	111	7.83	Freitas et al. (2019)
39	-	-	230	106.49	Saraswathi y Saseetharan (2012)

Anexo 7.

Instrumento de recolección de datos

 Universidad César Vallejo	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PÁGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN	LUGAR DE PUBLICACIÓN
TIPO DE INVESTIGACIÓN		
CÓDIGO/ISBN:		
PALABRAS CLAVES:		
COAGULANTE VEGETAL		
DOSIS OPTIMA		
MATERIAL USADO:	Especies Vegetales	
RESULTADOS:	Eficiencia de la turbidez	
CONCLUSIONES:		