

Comparison of flocculants and natural coagulants for wastewater remediation in South America in the last 10 years: a review of the scientific literature

Natalie Marie Salvador Hidalgo¹, Kiara Ximena Moreau Crispin², and Magda Velásquez Marin Mtr³

^{1,2,3} Universidad Privada del Norte (UPN), Perú. Facultad de Ingeniería, Sede Breña, Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú. N00205100@upn.pe, N00200193@upn.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

*Abstract– Wastewater pollution has been causing great concern throughout the world in recent decades since it seriously affects flora and fauna and transmits diseases such as typhoid fever, dysentery, cholera, among others. Therefore, in the present systematic review, natural flocculants and coagulants for the remediation of wastewater in South America were identified and compared, according to research journals published in scientific databases, in the last ten years. Information from scientific articles and academic theses belonging to the SciELO, Redalyc and Google Scholar databases was used considering the period 2012 - 2022 and the Spanish, English and Portuguese languages. 60 articles were identified, of which 10 that did not meet the research objective were discarded, reaching a total of 40 articles and 10 selected theses. A greater number of studies from Colombia was found, followed by Peru and Ecuador. One of the main limitations was the lack of command of the Portuguese language, since 4 articles written in that language were identified. Likewise, being South America the study area, limited articles related to flocculation and natural coagulation were found, of which 50 were selected for the present systematic review. As a result, the most effective species for the remediation of wastewater were identified. It is concluded that the most outstanding species *Moringa oleifera* "Moringa" and *Opuntia ficus-indica* "Tuna" present an efficacy for the remediation of wastewater in South America as flocculants and coagulants obtaining contaminant removal yields of up to 99.29% for turbidity and 99.96% for total coliforms.*

Keywords: flocculation, coagulation, wastewater

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Comparación de floculantes y coagulantes naturales para la remediación de aguas residuales en Sudamérica en los últimos 10 años: una revisión de la literatura científica

Natalie Marie Salvador Hidalgo¹, Kiara Ximena Moreau Crispin², and Magda Velásquez Marin Mtr³

^{1,2,3} Universidad Privada del Norte (UPN), Perú. Facultad de Ingeniería, Sede Breña, Av. Tingo María 1122, Cercado de Lima, Perú. N00205100@upn.pe, N00200193@upn.pe, magda.velasquez@upn.edu.pe

Resumen– La contaminación por aguas residuales viene causando gran preocupación en todo el mundo en las últimas décadas dado que afecta gravemente a la flora y la fauna y transmite enfermedades como fiebre tifoidea, disentería, cólera, entre otras. Por ello, en la presente revisión sistemática se identificaron y compararon floculantes y coagulantes naturales para la remediación de aguas residuales en Sudamérica, de acuerdo con revistas de investigación publicadas en base de datos científicos, en los últimos diez años. Se empleó información proveniente de artículos científicos y tesis académicas pertenecientes a las bases de datos SciElo, Redalyc y Google Académico considerando el periodo 2012 - 2022 y los idiomas español, inglés y portugués. Se identificaron 60 artículos, de los cuales se descartaron 10 que no cumplían con el objetivo de la investigación, alcanzando un total de 40 artículos y 10 tesis seleccionadas. Se encontró una mayor cantidad de estudios provenientes de Colombia, seguido por Perú y Ecuador. Una de las principales limitaciones fue la falta del dominio del idioma portugués, dado que se identificaron 4 artículos redactados en ese idioma. Asimismo, siendo el área de estudio Sudamérica, se encontraron limitados artículos relacionados a floculación y coagulación natural, de los cuales se seleccionaron 50 para la presente revisión sistemática. Como resultado se identificaron a las especies más eficaces para la remediación de aguas residuales. Se concluye que las especies más destacadas *Moringa oleifera* “Moringa” y *Opuntia ficus-indica* “Tuna” presentan una eficacia para la remediación de aguas residuales en Sudamérica como floculantes y coagulantes obteniéndose rendimientos de remoción de contaminantes de hasta 99.29% para turbidez y 99.96% para coliformes totales.

Palabras claves: floculación, coagulación, aguas residuales

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de los contaminantes [1]. Algunos países en vía de desarrollo no cuentan con sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales; ya sea por problemas económicos, o debido al limitado conocimiento sobre alternativas viables de bajo costo, a pesar de ser una herramienta para mejorar la calidad del agua [2]. Además, el uso de estas aguas en los cultivos resulta atractivo para los agricultores, por su accesibilidad y el bajo costo que les representa en el uso de fertilizantes, pero existen múltiples impactos negativos en los ámbitos social, ambiental y económico, desde problemas de salud hasta contaminación de los suelos [3].

Las aguas residuales se pueden clasificar en aguas residuales domésticas e industriales. Se caracterizan por tener baja carga orgánica, lo que a veces se argumenta como dificultad para implementar sistemas biológicos de tratamiento [4], siendo uno de los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) como también el control del agua potable [5].

El tratamiento de aguas residuales es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos queden convertidos en sólidos minerales u orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado; una vez completado todo el proceso de tratamiento es necesario disponer de los líquidos y sólidos que se hayan generado [6]; por ello existen diversas formas para la remediación de las aguas residuales. Una de estas es el método de floculación y coagulación; donde la floculación se define cómo la aglutinación de partículas desestabilizadas por la coagulación. El propósito de la floculación es eliminar partículas de color, turbiedad y bacterias en grandes copos, ya sea como precipitados o en partículas en suspensión [7]. Los floculantes usados en tratamiento de aguas pueden ser clasificados en tres grupos: floculantes inorgánicos tales como el aluminio, floculantes férricos o policloruro de aluminio; y

floculantes orgánicos sintéticos, tales como derivados de la poliacrilamida [8].

Por otro lado, los coagulantes son productos que reaccionan químicamente con los componentes del agua, especialmente con la alcalinidad formando un precipitado voluminoso y absorbente. Los coagulantes desestabilizan las partículas suspendidas presentes en el agua que tienen carga negativa por neutralización de las cargas coloidales, es decir que deben ser iones positivos [9]. Los coagulantes naturales pueden ser alternativas viables a polielectrolitos sintéticos, ya que son biodegradables, seguros para la salud humana y tienen un rango de dosis efectiva más amplio para la floculación de varias suspensiones coloidales [10]; asimismo los coagulantes comúnmente utilizados son las sales de aluminio, hierro, calcio y los polímeros. El sulfato de aluminio y el cloruro férrico son coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas residuales industriales, por su bajo costo, fácil manejo, preparación y aplicación debido a su capacidad de convertir material coloidal en agregados fácilmente sedimentables [11].

En función de lo señalado, es necesaria una evaluación que permita determinar los coagulantes y floculantes más efectivos, menos perjudiciales y ambientalmente inocuos para remover la turbidez de las aguas residuales; ya que en la depuración de aguas residuales es habitual someter éstas a un tratamiento fisicoquímico previo a su descarga hacia la red de alcantarillado o los cuerpos de aguas receptores (ríos, pantanos y mares), siendo el más utilizado la coagulación-floculación [12].

Teniendo en cuenta que en la actualidad la disponibilidad de agua es cada vez más restringida para fines de consumo en el mundo, es necesario tomar en consideración la reutilización de aguas con altos niveles de turbiedad con el método de coagulación - floculación natural para la remediación de estas aguas, y posteriormente utilizar en riego, entre otros usos. De esta manera se contribuye con la eficiencia del uso de aguas residuales, cumpliendo con los límites permisibles del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica que brinda en cada país de Sudamérica para así ejecutar de manera legal la medición de parámetros establecidos; incluyendo el seguimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a fin de garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, además del saneamiento para todos.

Esta investigación toma en cuenta la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los floculantes y coagulantes naturales más eficientes para la remediación de aguas residuales en Sudamérica de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas, en los últimos diez años?

Con la ayuda de una revisión sistemática, para contestar la pregunta central, se tiene como objetivo principal comparar floculantes y coagulantes naturales para la remediación de aguas residuales en Sudamérica, de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en base de datos científicas, en los últimos diez años.

II. METODOLOGÍA

La presente revisión sistemática parte de la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los floculantes y coagulantes naturales más eficientes para la remediación de aguas residuales en Sudamérica, de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en base de datos científicas, en los últimos 10 años?

A. Criterios de selección

Para la selección de información se han considerado artículos científicos de revistas indexadas y tesis académicas que se alineen al objetivo de estudio. Se incluyeron artículos originales en idioma español, inglés y portugués de fuentes confiables y se seleccionaron estudios considerando el periodo de publicación entre los años 2012 y 2022.

En cuanto a la exclusión, se consideró lo siguiente:

- No cumple con el objetivo de investigación.
- Negación de acceso al artículo completo.
- No abarca el área de estudio seleccionada.

B. Recursos de información

Para la búsqueda de investigaciones se realizó la búsqueda en repositorios electrónicos formales y bases de datos como: SciElo, Redalyc y Google Académico. Se encontraron un total de 60 documentos, entre ellos se seleccionó un total de 50 trabajos de investigación.

Se obtuvieron artículos de revistas como Revista de la Sociedad Química del Perú, Revista Colombiana de Biotecnología, Revista internacional de contaminación ambiental, entre otras. Lo cual se encontró 48 artículos científicos y 12 tesis y luego de analizar detenidamente se concluyó que 50 investigaciones se alineaban al objetivo de investigación, se tenía acceso al artículo completo y abarcaba el área de estudio seleccionada.

C. Búsqueda

Para poder realizar la búsqueda de literatura científica en base a todo lo mencionado anteriormente, se identificaron las palabras claves de la pregunta de investigación y se tomó en cuenta el tiempo de rango establecido de 10 años.

Además, para una búsqueda más específica se usaron los operadores booleanos para filtrar la información, realizándose las búsquedas “floculación” “AND” “aguas residuales”, “coagulación” “AND” “aguas residuales” para una mayor eficiencia en la búsqueda de los estudios. De acuerdo con esto se seleccionó 50 investigaciones que cumplieron con los criterios anteriormente mencionados.

D. Descarte e inclusión

A partir de los artículos revisados que tenían cierta relación con lo investigado se usó criterios de inclusión entre ellos:

- Los artículos aportan al objetivo y responden a la pregunta de investigación
- Contiene redacción coherente
- Abarca área de estudio (Sudamérica) y rango de tiempo (2012 – 2022) seleccionados
- Por otro lado, los criterios de exclusión fueron:

- La investigación no está relacionada con el objetivo del tema de estudio
- No abarca el área de estudio y rango de tiempo seleccionados

E. Selección de datos

Los artículos de investigación seleccionados y descartados se organizaron en una ficha de registro tomando en cuenta los criterios de: Base de datos, autores, título, país, año de publicación y razón de exclusión.

III. RESULTADOS

A. Proceso de selección de estudios

Para la revisión sistemática se tomaron diversas bases de datos como SciELO, Redalyc y Google académico, donde se encontraron artículos científicos de investigación y tesis académicas de diversos países de Latinoamérica en un tiempo de 10 años. Al inicio se encontraron 60 artículos, de los cuales se descartaron 10 artículos, quedando un total de 50 investigaciones, siendo 48 de ellas artículos científicos y el resto 12 tesis. En la figura 1 se observa el proceso de selección y la cantidad de artículos y tesis excluidos e incluidos para la revisión sistemática.

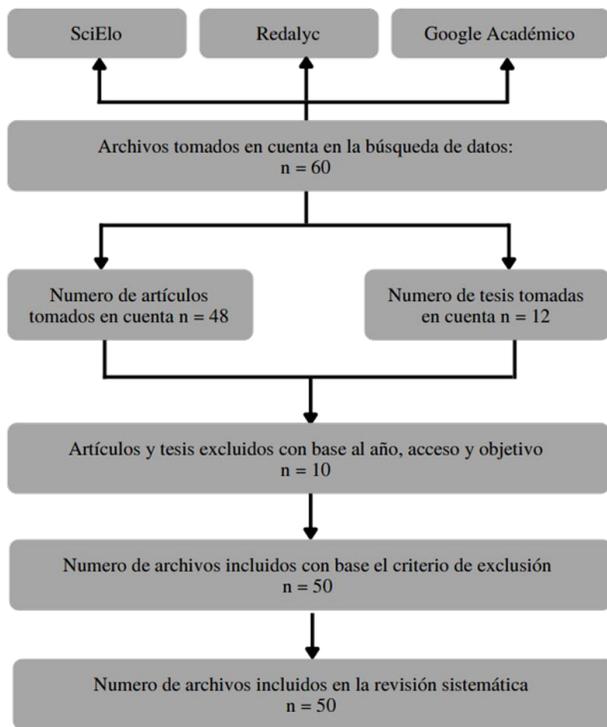


Fig. 1 Diagrama de flujo del proceso de selección de investigaciones

Asimismo, se muestra en la Figura 2 un gráfico en columna que muestra la cantidad de investigaciones finales utilizadas en esta revisión sistemática, donde se puede observar que la mayor cantidad de artículos incluidos pertenecen a la base de datos de

SciELO con un total de 23 a comparación de Google Académico y Redalyc con 15 y 12 investigaciones, respectivamente.

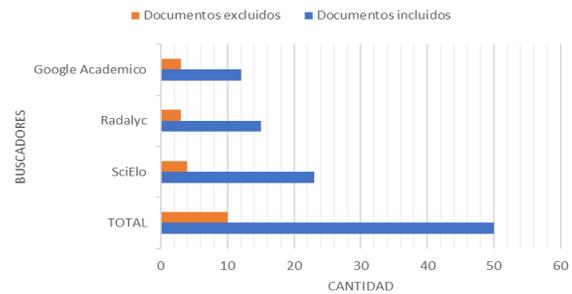


Fig. 2 Investigaciones finales según los buscadores

B. Características de estudio

Para la presente revisión sistemática, se tomó en cuenta los artículos según las diferentes bases de datos anteriormente señaladas, donde el mayor porcentaje de investigaciones seleccionadas pertenece a SciELO con un 46 %, seguido por Redalyc con 30 % y Google Académico con 24 % tal como se observa en la tabla I.

TABLA I
PORCENTAJE DE INVESTIGACIONES INCLUIDAS

Base de datos	Artículos seleccionados	Porcentaje (%)
SciELO	23	46
Redalyc	15	30
Google Académico	12	24
Total	50	100

Asimismo, de las 50 investigaciones incluidas en esta revisión sistemática, principalmente los artículos seleccionados fueron publicados entre los años 2017 al 2020 con 31 artículos elegidos representando un 62% del total de artículos seleccionados tal como se observa en la tabla II.

TABLA II
INVESTIGACIONES INCLUIDAS SEGÚN SU AÑO DE PUBLICACIÓN

Base de datos	Años de publicación											Total
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
SciELO	1	3	1	2	2	3	1	5	3	2		23
Redalyc		1	2	1	1	3	2	3	1	1		15
Google Académico				2		3	3	1	3			12
Total	1	4	3	5	3	9	6	9	7	3	0	50

Se observa que los años 2017 y 2019 tuvieron la mayor cantidad de investigaciones seleccionadas, siendo estas 9 en ambos casos.

Por otro lado, de las 50 investigaciones incluidas se clasificaron según el tipo de investigaciones científicas, donde se obtuvo que el 80% corresponde a 40 artículos y el 20% restante a 10 tesis incluidas en la revisión sistemática tal como se observa en la tabla III.

TABLA III
CANTIDAD DE ARTÍCULOS Y TESIS INCLUIDOS SEGÚN EL TIPO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Base de datos	Artículos	Tesis	Total	Porcentaje (%)
SciElo	23		23	46
Redalyc	15		15	30
Google Académico	2	10	12	24
Total	40	10	50	100

En la Figura 3 se muestran los porcentajes de los estudios según el idioma que posee cada artículo de investigación siendo el español al que pertenecen la mayoría de los estudios, seguido por el inglés y el portugués.

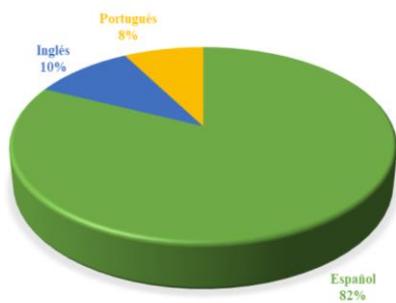


Fig. 3 Total de estudios seleccionados según el idioma

En relación con la inclusión de los artículos científicos según los países, se obtuvo como resultado que la mayor cantidad de estudios fueron de Colombia con un 54% seguido de Perú con un 20%, Ecuador con un 10%, Brasil con 8%, Venezuela con 4% y Argentina y Bolivia con 2% en ambos casos tal como se observa en la tabla IV.

TABLA IV
INCLUSIÓN SEGÚN PAÍSES

País	Artículos seleccionados	Porcentaje (%)
Colombia	27	54
Perú	10	20
Ecuador	5	10
Brasil	4	8
Venezuela	2	4
Argentina	1	2
Bolivia	1	2
Total	50	100

Se puede apreciar que el país con más información en relación al objetivo de investigación es Colombia con 27 artículos.

C. Análisis global de los estudios

En la presente revisión sistemática se tiene como pregunta de investigación ¿Cuáles son los floculantes y coagulantes

naturales más eficientes para la remediación de aguas residuales en Sudamérica de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas, en los últimos diez años? En base a ello se evidencia que los artículos escogidos obtuvieron en su mayoría resultados positivos para la remediación de aguas residuales utilizando coagulantes y floculantes naturales.

D. Análisis global de los estudios (respondiendo al objetivo de investigación)

La presente revisión sistemática tiene como objetivo comparar los floculantes y coagulantes naturales para la remediación de aguas residuales en Sudamérica, de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas, en los últimos diez años. A continuación, se mostrarán los floculantes y/o coagulantes de origen natural destacados en las investigaciones seleccionadas, su rendimiento máximo en porcentaje, el método utilizado y los parámetros tratados en cada uno de los casos.

Tal como se observa en la tabla V se presentan 16 especies de coagulantes vegetales para la remediación de aguas residuales, siendo las especies *Moringa oleifera* “Moringa” y *Opuntia ficus-indica* “Tuna” aquellas con mayor relevancia entre los artículos seleccionados, obteniéndose rendimientos de remoción de contaminantes de hasta 99.29% para turbidez y 99.96% para coliformes totales, respectivamente, demostrando su eficiencia para la remediación de turbidez, conductividad eléctrica, color, DQO, DBO, temperatura, coliformes fecales, sólidos totales (disueltos y suspendidos), entre otros parámetros ya mencionados.

Por otro lado, de acuerdo con las investigaciones las especies *Abelmoschus esculentus* “quingombó”, *Cassia fistula* “hojasén” y *Musa paradisiaca* “plátano” obtuvieron menores porcentajes de remoción de contaminante con valores de 68.4%, 69.75% y 67.57 %, respectivamente, siendo estos inferiores a lo considerado eficiente (70%) para parámetros de turbidez, color y pH.

TABLA V
RECOLECCIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS DATOS

Floculante y/o coagulante	Método	Dosis	Parámetros tratados	Porcentaje de remoción	Actividad floculante / coagulante	Observaciones	Referencias
<i>Caesalpinia spinosa</i> "guarango"	Prueba de jarras a partir de semillas de goma de tara a concentraciones de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mg/L.	100 - 600 mg/L	UNT CE Color	88.35% 79.59% 77.92 %	-	Remoción de la turbidez de 53 a 11.7 UNT, color de 14 UPC a 17 UPC y conductividad de 12.8 a 24.4 µS/cm.	[13]
	Prueba de jarras a velocidad de 300 rpm y 5 segundos de acción para la mezcla rápida u	15 - 43.25 mg/L	UNT	63.3%	Floculación por puentes poliméricos. Se observaron floculos grandes y de fácil sedimentación	La goma de tara es efectiva como ayudante de coagulación con una reducción de turbidez de 0.58 UNT a 0.32 UNT.	[14]
<i>Moringa oleifera</i> "Moringa"	Prueba de jarras con semillas de moringa a 200 rpm durante 1 min y sedimentación por 15 minutos.	50 mg/L	UNT	99.29%	-	Alternativa eficiente para la purificación de aguas residuales. Genera lodos biodegradables.	[15]
	Método de prueba de jarras con semillas de moringa; velocidad de floculación de 20 y 30 rpm y floculación de 20 y 30 minutos.	100 y 200 mg/L	UNT	98.88%	-	La reducción de la turbidez es mayor cuando se incrementa la dosis de semillas de 100 a 200 mg/L. El mejor tiempo de sedimentación fue de 90 minutos	[16]
	Prueba de jarras con semillas de moringa. Mezclado a 200 rpm y sedimentación por 30 min. Ensayos de remoción en módulos de polietileno.	60, 80 y 100 mg/L	UNT	98.32%	-	Alta eficiencia con Ca(OH) ₂ como pretratamiento. A mayor tiempo de contacto con el agua se observan mejores resultados.	[17]
	Extracción de semillas de moringa sin cáscara en solución salina de 1,0 M NaCl y purificación por ultrafiltración, precipitación química y electroforesis.	50 mg/L	UNT	98.2%	La solución de NaCl presenta mayor coagulación, mejorando la capacidad neutralizadora de cargas superficiales en las partículas en disolución.	Eficiente en el tratamiento de aguas contaminadas. Capaz de eliminar coliformes totales y fecales.	[18]
	Se agregó extracto de semillas de moringa a un reservorio con 150 L de aguas residuales, cuyo efluente coagulado pasó por un filtro orgánico.	2.2 g/L	UNT ST STS	98% 75.3 % 75.0%	-	Alta eficiencia en la remoción. El filtro orgánico por sí solo proporcionó una mejora en la eliminación de la turbidez	[19]
	Prueba de jarras con semillas de moringa y almidón de yuca en vasos de precipitados de 1500 mL. Agitación rápida durante 1 minuto a 120 rpm, luego reposo por 15 minutos.	600-750 mg/L	UNT	93.4 %	-	Mejores resultados de remoción con los tratamientos con proporciones de 80:20, 60:40 y 50:50 de yuca – moringa	[20]
	Test de jarras con semillas de moringa. Agitación rápida a 120 rpm durante un minuto; agitación lenta a 30 rpm durante 20 minutos y sedimentación durante 15 minutos.	750 – 850 mg/L	UNT	64%	-	La moringa tiene la capacidad de reducir a la mitad la turbidez inicial del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico.	[21]
<i>Opuntia ficus-indica</i> "Tuna"	Prueba de jarras con penca de tuna en vasos de precipitación de 1000 ml. Medición de turbidez con turbidímetro y color con espectrofotómetro	10 g/L	CF UNT	99.96 % 77.8 %	-	Se resalta el poder bactericida de la tuna al obtenerse un valor elevado en la remoción de coliformes fecales.	[22]
	El mucílago de tuna se vertió en un tubo de ensayo y se homogeneizó por 15 segundos. Se aplicó de solventes: etanol, NaCl y agua.	10 – 45 mg/L	UNT	99.14 %	Mejor actividad floculante cuando es extraído con etanol.	La DBO del agua con coagulante se incrementó con el porcentaje de aplicación	[23]
	Prueba de jarras con pencas de tuna. Mezclado a 200 rpm y sedimentación por 30 min. Ensayos de remoción en módulos cilíndricos de polietileno.	60, 80 y 100 mg/L	UNT	98.69 %	-	Sin necesitar tratamiento, el cactus logra las mejores remociones de turbiedad con una dosis óptima de 100 mg/L.	[17]
	Prueba de jarras con mucílago de tuna utilizando agitador de paleta a 100 rpm y muestra de agua turbia residual de 1 L en vasos de precipitados.	160 mg/L	UNT	94.76 %	Tras la agitación, las partículas inmersas en el agua se desestabilizan y se facilita el choque lento de partículas para la coagulación y floculación de macropartículas.	Dado que la temperatura afecta los resultados, se recomienda el uso de pencas de tuna a 22-25 °C.	[7]
	Proceso de clarificación por prueba de jarras con mucílago de tuna a velocidad de agitación de 1 minuto. Luego, se dejó sedimentar los floculos durante 1 hora.	35 mg/L	UNT	93.25 %	El pH entre 7 y 10 influye en el proceso de clarificación del agua ya que permitió la formación de floculos capaces de precipitar.	<i>Opuntia ficus-indica</i> removió la turbidez del agua del río Magdalena con un porcentaje de remoción de turbidez superior a 70%.	[24]
	Extracción de cladodios de cactus por ebullición de cladodios frescos para obtener una muestra de cactus en polvo. Test de jarras convencional.	0.04 - 8 g/L	Metales pesados UNT	93.02 % 91%	La solución de NaCl presenta mayor coagulación, mejorando la capacidad neutralizadora de cargas superficiales en las partículas en disolución.	Alta capacidad de coagulación por presencia de carbohidratos complejos en los cladodios de cactus con capacidad de retener agua.	[18]
	Se evaluó el poder coagulante de la penca de tuna por prueba de jarras con agitación de 30 rpm.	50, 75 y 90 mg/L	UNT Color	72% 54%	-	Alta actividad como coagulante debido a capacidad para remover más del 50% del color y más de 70% de turbidez	[25]
<i>Musa paradisiaca</i> "plátano"	Prueba de jarras con cáscara de plátano verde en vasos de precipitados de 1 L utilizando el agua cruda con agitación a 100 rpm durante 1 min y sedimentación durante 30 min.	50 - 200 µL	UNT Color Coliformes	87 % 92% 96%	Presencia de sólidos no sedimentarios. Las sustancias coagulantes tienen actividad coagulante deficiente o nula, para ensayos de turbidez baja dado que no hay suficientes partículas para crear la acción de barrido.	Baja actividad coagulante, por la baja turbidez del agua cruda, presentaron actividad floculante al combinarse con sulfato de aluminio.	[26]

	Aplicación de la prueba de jarras con la médula de banano en vasos de precipitados. Cada muestra se sometió a una mezcla rápida de 120 rpm durante 60 segundos y sedimentación por 15 min.	10 - 100 mg/L	UNT	67.57 %	La médula de banano se carga positivamente en la superficie y adsorbe especies contaminantes de cargas negativas, siendo estas en su mayoría partículas coloidales responsables de la turbidez en el agua.	Se destaca capacidad coagulante del plátano en la remoción de turbidez del agua cruda proveniente del río Magdalena.	[27]	
<i>Citrus sinensis</i> "naranja"	Prueba de jarras con pectina de cáscara de naranja en vasos de precipitados de 1 L utilizando el agua cruda muestreada con agitación a 100 rpm durante 1 minuto y sedimentación durante 30 minutos.	50 - 200 µL	UNT	92 %	Presencia de sólidos no sedimentarios. Las sustancias coagulantes tienen actividad coagulante deficiente o nula, para ensayos de turbidez baja dado que no hay suficientes partículas para crear la acción de barrido.	Baja actividad de coagulante natural, por la baja turbidez del agua cruda, se presenta mayor actividad floculante al combinarse con sulfato de aluminio.	[26]	
<i>Tamarindus indica</i> "tamarindo"	Prueba de jarras con semilla de tamarindo en vasos de precipitados de 1 L utilizando el agua cruda muestreada con agitación a 100 rpm durante 1 minuto y sedimentación durante 30 minutos.	50 a 200 µL	UNT,	96%	Presencia de sólidos no sedimentarios. Las sustancias coagulantes tienen actividad coagulante deficiente o nula, para ensayos de turbidez baja dado que no hay suficientes partículas para crear la acción de barrido.	Baja actividad coagulante, por la baja turbidez del agua cruda, se presentó mejor actividad floculante al combinarse con sulfato de aluminio	[26]	
<i>Ipomoea incarnata</i> "campanita"	Se seleccionaron tres sustratos; donde se obtuvieron semillas de la <i>Ipomoea incarnata</i> . Para evaluar los coagulantes, se procedió a realizar una prueba de jarras.	50 mg/L	UNT	99.18 %	-	Al usar el polvo de la semilla <i>Ipomoea incarnata</i> se alcanza una gran eficiencia en la clarificación del agua residual.	[28]	
<i>Echinopsis pachanoi</i> "cactus de San Pedro"	Se vertió coagulante natural del zumo filtrado del cactáceo al 1% en suspensión de caolín y solución de hierro al 1% y se homogeneizó.	0.25 mL	UTM	99.44%	La actividad floculante aumenta con el incremento de la concentración de coagulante en el agua residual artificial. Del mismo modo, existe un descenso de la actividad floculante con el incremento de concentración de pectina.	El "cactus de San Pedro" presenta mejores resultados como floculante cuando es extraído usando etanol como solvente	[23]	
<i>Neoraimondia arequipensis</i> "gigantón"	Se vertió coagulante natural del zumo filtrado del cactáceo al 1% en suspensión de caolín y solución de hierro al 1% y se homogeneizó.	3.08 - 3.34 mg/L	UTM	92.79 %	Mejor actividad floculante cuando es extraído con etanol.	El "gigantón" aporta DBO al agua artificial debido a su alto contenido de proteínas y sacarosa.	[23]	
<i>Mangifera indica</i> "mango"	Se realizó en un equipo de test de jarras con el polvo de la almendra del mango, en el cual se llevó a cabo 9 tratamientos con 3 repeticiones de 800 ml para cada uno.	5 - 60 mg/L	UNT Color SST	95.23% 92.14% 49.58%	-	Se identificó que un valor muy bajo de la velocidad de mezcla rápida no logra la turbulencia necesaria.	[29]	
<i>Manihot esculenta</i> "yuca"	Prueba de jarras con almidón de yuca en vasos de precipitados de 1500 mL con agitación rápida durante 1 minuto a 120 rpm, luego se dejó reposar por 15 minutos.	600 - 750 mg/L	UNT	89.7%	-	Los mejores resultados de remoción corresponden a los con proporción de 80:20, 60:40 y 50:50 de yuca - moringa	[20]	
	Las biomásas por almidón de yuca fueron analizadas con y sin pre-tratamientos químicos (Ca(OH) ₂ , CaCl ₂ , NaOH y NaCl). Se efectuaron pruebas mediante coagulación y floculación.	60 - 100 mg/L	UNT	79.73 %	-	-	El coagulante demostró su eficiencia para el tratamiento de aguas, con menor generación de lodos.	[18]
	Se llenaron 6 vasos de Griffin con 1000 mL del agua y se suministraron diferentes dosis de la mezcla coagulante (almidón de yuca) con el método sobre ensayo de Jarras.	10 - 100 mg/L	UNT,	71.06 %	-	Almidón de yuca influye en el tamaño de los flóculos. Coloides presentes en el agua sin tratar se unen contribuyendo a un mejor proceso de coagulación, floculación y sedimentación de estas partículas.	La mezcla sulfato de aluminio - almidón de yuca redujo mayor turbidez que el coagulante químico sulfato de aluminio.	[30]
<i>Aloe "sábila"</i>	Se realizó con el método de jarras utilizando las hojas y con agitadores magnéticos en vasos de precipitación de un volumen de 1 L (8 vasos) y a 400 rpm.	5 - 15 mg/L	UNT	76.34%	-	Se logra mejor eficiencia de remoción de arsénico utilizando el floculante Praestol 851.	[31]	
<i>Cassia fistula</i> "hojasén"	Prueba de jarras con polvo de semilla, en una mezcla rápida por minuto a 200 rpm, después se dejó sedimentar por un tiempo de 30 minutos.	60 - 100mg/L	UNT Color	95 % 87,5 %	-	Se alcanzan valores mínimos de 25 UPC para el color y 6 UNT para turbidez.	[32]	
	Prueba de jarras con polvo de la semilla de la Cassia fistula de estándar en 7 vasos precipitados de 500 mL de agua residual, con agitación rápida (100 rpm) y lenta (40 rpm); tiempo de sedimentación de 60 minutos.	120- 200 mg/L	DBO Color UNT	63% 70% 69.75%	-	Se observa aumento en la concentración de sólidos al aumentar la dosis de coagulante debido a la restauración del sistema por la disolución de los flóculos formados.	Tras la coagulación con hojasén se obtuvieron valores finales de 30.25 UNT en la turbidez y 84 UPC en color. No se evidencian cambios en la DQO debido a la presencia de compuestos orgánicos no biodegradables	[33]

<i>Prunus pérsica</i> "durazno"	Pruebas de jarras con semillas de los productores artesanales de jugos con duraznos utilizando agua turbia residual de 1 L en vasos de precipitados a 100 rpm, y sedimentación por 30 minutos.	7.59 mg /L	UNT	89.87%	Tras la agitación, las partículas inmersas en el agua se desestabilizan y se facilita el choque lento de partículas para la coagulación y floculación de macropartículas.	Se demostró que este coagulante es menos eficaz en comparación con <i>Solanum tuberosum</i> "papa" y <i>Opuntia ficus-indica</i> "tuna".	[7]
<i>Solanum tuberosum</i> "papa"	Pruebas de jarras con cáscara de papa utilizando agua turbia residual de 1 L en vasos de precipitados a 100 rpm, luego por 15 minutos a 40 rpm y sedimentación por 30 minutos.	3.04 mg/L	UNT	95.78 %	Tras la agitación, las partículas inmersas en el agua se desestabilizan y se facilita el choque lento de partículas para la coagulación y floculación de macropartículas.	Comparado con otros tipos de coagulantes vegetales, el que mejores cualidades mostró fue el almidón de cáscara de papa a una temperatura de 19°C.	[7]
<i>Abelmoschus esculentus</i> "quingombó"	Prueba de desestabilización con el fruto del "quingombó" previamente secado y tamizado a temperatura ambiente (25°C), con agitación mecánica de 5 minutos.	20 g/L - 100 g/L	UNT	68.4%	El floculante provocó una reducción de turbidez temporal de la emulsión.	Después de 30 minutos de reposo se observó un aumento en la turbidez de la emulsión.	[34]
<i>Quitosano</i> (Biopolímero)	Las muestras de agua para el test de jarras se disolvieron donde fueron tomadas del tanque de producción en recipientes de 1 L.	3, 6, 9, 12 y 15 mg/L	UNT SST	88% 78.2%	Al usar el coagulante, las partículas en suspensión precipitan a mayor velocidad de sedimentación.	Buena opción en la remoción de turbiedad del agua.	[35]

Notas:

CE: Conductividad eléctrica
 CF: Coliformes fecales
 CT: Coliformes totales
 DBO: Demanda bioquímica de oxígeno
 DQO: Demanda química de oxígeno
 pH: Potencial de hidrógeno
 OD: Oxígeno disuelto
 ST: Sólidos totales
 STS: Sólidos totales suspendidos
 STD: Sólidos totales disueltos
 T°: Temperatura
 UNT: Unidad nefelométrica de turbidez.
 UPC: Unidades de platino-cobalto

IV. DISCUSIÓN

Durante la revisión sistemática se plasmaron 60 artículos, donde solo se seleccionaron 50 ya que cumplían con los criterios correspondientes de la investigación, siendo 10 artículos desfavorables ya que no se encontraban en el periodo de tiempo establecido, ni se encontraban en el área de estudio seleccionada y no responden al objetivo de investigación planteado en la revisión sistemática

Acerca de las limitaciones, dado que el área de estudio se centra en Sudamérica, se encontraron limitados artículos relacionados a floculación y coagulación natural, reduciéndose a poco más de 60, de los cuales se seleccionaron 50 para la presente revisión sistemática, a diferencia del resto del mundo del que se tiene más de 1000 resultados.

Con relación a la pregunta de investigación se decidió analizar la metodología y resultados según el máximo rendimiento del uso de los floculantes y coagulantes naturales de los artículos escogidos. De esta manera se determinó que coagulantes naturales como las Cactáceas presentan un alto porcentaje de remoción de sólidos, siendo la especie *Echinopsis pachanoi* una de las más efectivas dado que presenta resultados mayores al 99% [22]. Además, en otra investigación, al momento de utilizar semillas de moringa de La Yarada, Los Palos, lograron una eficiente remoción de turbidez como consecuencia de la eliminación de las partículas en suspensión contenidas en el agua del río Sama, donde se obtuvo niveles de reducción de la turbidez de 97.04 %; 92.37 % y 98.88% [17].

Por otro lado, pese a que el uso de *Musa paradisiaca* "plátano" por sí solo no presentó actividad coagulante, en combinación con sulfato de aluminio sí obtuvo resultados

favorables [26] y [27]. Por lo tanto, se recomienda el uso de almidón de plátano como coadyuvante en la floculación tal como lo respaldan algunos estudios [36].

Asimismo, cabe hacer la observación que, pese a que se mencionó en la sección anterior la gran viabilidad de la Moringa y otros coagulantes naturales para la remoción de contaminantes, existen casos que demostraron una mayor eficiencia para la descontaminación de aguas residuales con coagulantes químicos como polímeros como el Tanfloc [37], Superfloc [38], poliacrilamida [39] y quitosano [40], compuestos inorgánicos como el sulfato de aluminio [41], [42], [43], [44], cloruro de calcio [42], hidróxido de calcio [45], cloruro de hierro [46] así como otros tipos de tratamientos como electrocoagulación [47] o incluso la bioadsorción con componentes naturales como aserrín, bagazo y estopa de coco [48]. Cabe mencionar que el agua termal es una alternativa técnica que podría reemplazar el sulfato de aluminio, como coagulante natural para el tratamiento de agua residual [49].

IV. CONCLUSIONES

La revisión sistemática se llevó a cabo con el objetivo de dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los floculantes y coagulantes naturales más eficientes para la remediación de aguas residuales en Sudamérica de acuerdo con las revistas de investigación publicadas en bases de datos científicas, en los últimos diez años?

De acuerdo con esto se concluye que la *Opuntia ficus-indica* "Tuna" como coagulante natural presenta altos niveles de porcentajes de remoción de turbidez en aguas superficiales, lo cual puede ser utilizada como tratamiento preliminar de las aguas residuales por su efectividad.

En función al objetivo de investigación se puede concluir que la utilización de la *Moringa oleifera* "Moringa" como coagulante natural para remover la turbidez en aguas superficiales varía entre 64% - 99.29% lo cual hace que sea una alternativa para reducir el uso de coagulantes sintéticos que pueden llegar a los lodos y así afectar la salud de las personas; también es un menor costo que puede brindar.

Cabe resaltar que tanto la coagulación tanto química como natural en ciertos casos no remueven completamente la materia orgánica, sin embargo, la coagulación natural permite el

tratamiento de efluentes industriales con valores de pH por encima de 12, altas concentraciones de salinidad, metales pesados y alcalinidad. Además, la producción de lodos mediante coagulación natural es de alta calidad debido a su biodegradabilidad, compactación y estabilidad mecánica [50], además de representar una opción de bajo coste y amigable con el medio ambiente cuya aplicación está cobrando relevancia en países donde las plantas de tratamiento tecnificadas y automatizadas todavía no forman parte del manejo integral de contaminantes [51].

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros profesores de nuestra Alma Máter la Universidad Privada del Norte por todos los conocimientos brindados que hicieron posible esta investigación, además de a nuestros padres por su apoyo incondicional a lo largo de la formación académica.

REFERENCIAS

- [1] M. Camareno y L. Esquivel “Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica” en *Tecnología en Marcha*, vol.19, no.4, pp. 37-41, Dic. 2006 [Online] Disponible: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/37/36
- [2] A. Vargas, J. Calderón, D. Velásquez, M. Castro y D. Núñez “Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia” en *Ingeniare Revista chilena de ingeniería*, vol. 28, no. 2, pp. 315-322, Jun. 2020. [Online] Disponible: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052020000200315&script=sci_arttext
- [3] E. García “El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México.” *Estudios sociales Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, vol. 29, no. 54, Dic. 2019 [Online] Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2395-91692019000200106&script=sci_arttext
- [4] S. Crombet, N., Pérez, A. Ábalos y S. Rodríguez “Caracterización de las aguas residuales de la comunidad Antonio Maceo de la Universidad de Oriente” en *Revista Cubana de Química*, vol. 25, no. 2, pp 134-142, Jul. 2013. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543735003.pdf>
- [5] E. Raffo y E. Ruiz “Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno” en *Industrial data*, vol. 17, no 1, pp. 71-80, Jun. 2014. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- [6] M. Ronces, “Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de México”, Tesis de grado, Dept. Quim., UAEM, Toluca, México, 2018 [Online] Disponible: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94946/Tesis_a%20Mayte%20Ronces.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [7] P. Quino, “Evaluación de aguas residuales bajo el tratamiento a diferentes temperaturas de coagulación - floculación con semillas de Durazno (*Prunus pérsica*), Tuna (*Opuntia ficus indica*) y cáscara de Papa (*Solanum tuberosum*) del río Jillusaya” en *Apthapi*, vol. 6, no. 1, pp. 1839-1852, Abr. 2020 [Online] Disponible: <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/52>
- [8] H. Ramírez y J. Jaramillo, “Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua” en *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, pp. 136-153, Jul. 2015 [Online] Disponible: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303>
- [9] J. Diaz, “Coagulantes - Floculantes orgánicos e inorgánicos elaborados de plantas y del reciclaje de la chatarra para el tratamiento de aguas contaminadas”, Tesis de Maestría, Dept. Quim, UPNFM, Tegucigalpa, Honduras, 2014. [Online] Disponible: <http://www.cervantesvirtual.com/obra/coagulantes-floculantes-organicos-e-inorganicos-elaborados-de-plantas-y-del-reciclaje-de-la-chatarra-para-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas/>
- [10] N. Cabrera, A. Hernández, E. Simancas, J. Ayala y K. Almanza “Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias” en *Scientia et technical*, vol. 22, no. 1, pp. 109-113, Mar. 2017. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84953102015.pdf>
- [11] D. Duarte y L. Hernández, “Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia” en *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 6, no. 2, pp. 183-196, Dic. 2015 [Online] Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5628793>
- [12] G. Andrade, S. Carrasquero, A. Segovia, G.Zambrano, y A. Díaz “La bentonita como agente clarificante de un efluente industrial alimentario: su comparación con coagulantes químicos tradicionales” en *Revista Bases de la Ciencia*, vol. 5, no. 2, pp. 11-31, Ago. 2020 [Online] Disponible: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/1978>
- [13] G. Nolasco “Goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y su efecto en los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de las aguas del río Chumbao, Andahuaylas-Apurímac”, Tesis de grado, Dept. Ing., UTA, Apurímac, Perú [Online] Disponible: <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/276>
- [14] J. Valeriano y R. Matos “Influencia de la Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como Ayudante en el Proceso de Coagulación-Floculación para la Remoción de Turbidez de una Suspensión Artificial de Bentonita” en *Información tecnológica*, vol. 30, no. 5, pp. 299-308, Oct. 2019. [Online] Disponible: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v30n5/0718-0764-infotec-30-05-299.pdf>
- [15] N. Cabrera, E. Simancas y A. Hernández, “Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias” en *Prospectiva*, vol. 16, no. 2, pp. 94-99, Dic. 2018. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612018000200094
- [16] M. Castillo y E. Avendaño, “Efecto de las semillas de moringa (*Moringa oleifera* lam.) en las condiciones para la clarificación del agua del río Sama.” en *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 86, no. 1, pp. 47-57, Mar. 2020. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2020000100047&script=sci_arttext&tlng=pt
- [17] N. Fuentes, E. Molina y C. Ariza, “Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al₂(SO₄)₃ para clarificación de aguas.” en *Producción + Limpia*, vol. 11, no. 2, pp. 41-54, Dic. 2016. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200005
- [18] M. Bravo “Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales”, Trabajo fin de grado, Dept. Quim, UDFJC, Bogotá, Colombia, 2017 [Online] Disponible: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5609>
- [19] P. Vieira, A. Teixeira, I. Andrade, A. Da Silva, S. Toledo y V. Eustáquio, “Tratamiento de esgoto sanitario utilizando coagulante natural seguido de filtro orgánico”.en *Revista Caatinga*, vol. 27, no. 1, pp. 28-40, Mar. 2014. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237130153004>
- [20] K. Riaños, M. Meza y I. Mercado, “Clarification of the water of wetlands using a mixture of natural coagulants.” en *DYNA*, vol. 86, no. 209, pp. 73-78, Mar. 2019 [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532019000200073
- [21] I. Mercado, M. Meza, K. Riaños, M. Jurado y R. Olivero, “Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo, Atlántico.” en *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, no. 2, pp. 95-103, Mar. 2018. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553756965010/553756965010.pdf>
- [22] M. Chuiza, S. Calderón, J. Vargas, D. Borja y L. Rennola, “Clarificación de un agua residual de una industria láctea mediante coagulación con Tuna (*Opuntia ficus indica*).” en *Ciencia e Ingeniería*, vol. 40, no. 3, pp. 245-251, Jul. 2019 [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/5075/507567854003/>
- [23] D. Choque, Y. Choque, A. Solano y B. Ramos, “Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua.” en *Tecnología Química*, vol. 38, no. 2, pp. 298-309, Mar. 2018 [Online] Disponible: https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/739/David_Art%20c3%a0adculo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [24] R. Olivero, I. Mercado y L. Montes, "Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*." en *Producción + Limpia*, vol. 8, no. 1, pp. 19-27, Jun. 2013. [Online] Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n1/v8n1a03.pdf>
- [25] Á. Villabona, I. Paz y J. Martínez, "Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural." en *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 15, no. 1, pp. 137-144, Jun. 2013. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77628609014>
- [26] B. Buenaño, E. Vera, y M. Aldás, "Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment." en *Ingeniería e Investigación*, vol. 39, no. 1, pp. 24-35, Abr. 2019. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092019000100024
- [27] A. Sierra, A. Navarro, I. Mercado, A. Flórez y M. Jurado, "Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante." en *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 4, pp. 131-138, Ago. 2019. [Online] Disponible: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/9750>
- [28] N. Cabrera, A. Hernández, E. Simancas, J. Ayala y K. Almanza, "Coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias." en *Scientia Et Technica*, vol. 22, no. 1, pp. 109-112, Mar. 2017. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84953102015.pdf>
- [29] K. Florian y W. Huacanjulca, "Influencia del tiempo y dosis de polvo de pepa de *Mangifera indica L.* (Mango) en coagulación-floculación de aguas residuales de la Agroindustria Virú S.A." Tesis de Grado, Dept. Ing. Quim., UNT, Trujillo, Perú, 2019. [Online] Disponible: http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13222/FlorianDominguez_K%20-%20HuacanjulcaRebaza_W.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [30] K. Padilla, G. Pimienta y I. Mercado. "Evaluación de la mezcla de un coagulante químico-natural en el proceso de clarificación de una cieznaga." en *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, no. 3, pp. 49-60, Sep. 2020. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768212008/553768212008.pdf>
- [31] Y. Garay, "Eficiencia de la Remoción de Arsénico Mediante el Proceso de Coagulación/Floculación, de las Aguas Residuales de la Mina Artesanal Llacuabamba, Distrito de Parcoy, Provincia de Patate-La Libertad", Tesis de grado, Dept. Ing. y Arq., UAP, Huancayo, Perú, 2018. [Online], Disponible: <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/6263>
- [32] L. Guzmán, A. Taron y A. Nuñez, "Polvo de la semilla *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda." en *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 13, no. 2, pp. 123-129, Dic. 2015. [Online] Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n2/v13n2a14.pdf>
- [33] A. Tarón, L. Guzmán & I. Barros. "Evaluación de la *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales." en *Orinoquia*, vol. 21, no. 1, pp. 73-78, Jun. 2017. [Online] Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v21n1/0121-3709-rori-21-01-00073.pdf>
- [34] A. Silva, E. Silva, A. Ribeiro y S. Cruz, "Uso do quiabo (*Abelmoschus Esculentus*) como floculante na desestabilização de emulsões óleo/água." en *HOLOS*, vol. 3, pp. 256-263, Jul. 2014. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481547172031.pdf>
- [35] D. Rodríguez y D. Gallego, "Evaluación del quitosano como coagulante para el tratamiento de efluentes piscícolas." en *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 21, no. 1, pp. 6-17, Jun. 2019. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752019000100006
- [36] D. Trujillo, L. Duque, J. Arcila, A. Rincón, S. Pacheco, y O. Herrera, "Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano." en *Revista Ion*, vol. 27, no. 1, pp. 17-34, Jun. 2014. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003&lang=es
- [37] T. Barbosa, T. Daiane y P. Braga, "Tratabilidade de Água Superficial Utilizando Coagulantes Naturais à Base de Tanino e Extratos de Sementes de Moringa oleifera." en *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 21, no. 3, pp. 152-155, Dic. 2017. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/260/26054727004.pdf>
- [38] C. Cano, "Evaluación de un tratamiento de floculación-flotación para el agua residual generada en el procedimiento de subproductos avícolas." Trabajo de Grado, Dept. Ing., UL, Bogotá, Colombia, 2015. [Online] Disponible: <https://repository.unilivre.edu.co/handle/10901/7965>
- [39] D. Bortoleto, M. Camargos y J. Davo, "Aplicação de floculantes em pó para sedimentação do residuo Bayer na indústria do alumínio." en *HOLOS*, vol. 6, pp. 217-223, Nov. 2017. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481554851024.pdf>
- [40] S. Carrasquero, Y. González, G. Colina y A. Díaz, "Eficiencia del quitosano como coagulante en el postratamiento de efluentes de una planta de sacrificio de cerdos." en *Orinoquia*, vol. 23, no. 2, pp. 36-46, Nov. 2019. [Online] Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v23n2/0121-3709-rori-23-02-36.pdf>
- [41] M. Susco "Recuperación de plomo por coagulación-floculación en la cuenca del río Suches.", Trabajo de Grado, Dept. Ing. Quím., UNAP, Puno, Perú, 2020. [Online] Disponible: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/14443/Susco_Noa_Micaela.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [42] S. Carrasquero, R. Cordero, M. Mas y L. Vargas. "Tratamiento de efluentes de una industria procesadora de harina mediante coagulación-floculación." en *Multiciencias*, vol. 15, no. 3, pp. 256-264, Sep. 2015. [Online] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90444727003.pdf>
- [43] Y. Castañeda, R. Vargas, M. Césare, y L. Visitación, "Evaluación y tratamiento de efluentes del remojo convencional y enzimático de pieles, por precipitación de proteínas y coagulación." en *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 82, no. 4, pp. 440-453, Ene. 2017. [Online] Disponible: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n4/a06v82n4.pdf>
- [44] S. Canizales, C. Castro, J. Saldarriaga y F. Molina, "Evaluation of mature landfill leachates Treatment systems: the case of the landfill Curva de Rodas (Medellín-Colombia)" en *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, vol. 69, pp. 300-316, Dec. 2013. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302013000400024&lang=es
- [45] C. Cardona, F. Machuca y N. Marriaga, "Treatment of vinasse by using electro-dissolution and chemical flocculation" en *Ingeniería y competitividad*, vol. 15, no. 2, pp. 191-200, Jun. 2013. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-30332013000200018
- [46] J. Yanza, R. Rivera, L. Gómez y C. Zafra, "Evaluación de FeCl₃ y PAC para la potabilización de agua con alto contenido de color y baja turbiedad." en *TecnoLógicas*, vol. 22, no. 45, pp. 11-23, Ago. 2019. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992019000200011&lang=es
- [47] Y. Rodríguez, M. Fuentes, Ó. Beleño y L. Montoya, "Electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas residuales mixtas originadas en la industria del procesamiento de lácteos y cárnicos." en *Tecnura*, vol. 25, no. 67, pp. 26-39, Jul. 2021. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2021000100026
- [48] A. Castillo, "Diseño de un tratamiento de aguas residuales de lubricado mediante bio-adsorción y coagulación-floculación." Trabajo de Grado, Dept. Ing., UDLA, Quito, Ecuador, 2015. [Online] Disponible: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2794273>
- [49] J. Quintero, W. Murillo y I. Cerón, "Uso de agua termal como coagulante natural para o tratamiento de água residual doméstica." en *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 26, no. 44, pp. 35-45, Ago. 2017. [Online] Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-11292017000100035&script=sci_abstract&lng=pt
- [50] C. Banchón, R. Baquerizo, D. Muñoz y L. Zambrano, "Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales." en *Enfoque UTE*, vol. 7, no. 4, pp. 111-126, Dic. 2016. [Online] Disponible: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1390-65422016000400111
- [51] A. Revelo, D. Proaño y C. Banchón, "Biocoagulación de aguas residuales de industria textilera mediante extractos de *Caesalpinia spinosa*." en *Enfoque UTE*, vol. 6, no. 1, pp. 1-12, Mar. 2015. [Online] Disponible: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422015000100001&script=sci_arttext