



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“COAGULANTES NATURALES Y LA CALIDAD DE
AGUAS SUPERFICIALES. UNA REVISIÓN
SISTEMÁTICA ENTRE 2009 Y 2019”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Mariano José Del Castillo Sagastegui

Asesor:

Ing. Liana Ysabel Cárdenas Gutiérrez

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

A mi familia y amigos por darme el apoyo para realizar mis metas

AGRADECIMIENTO

A mis profesores por brindarme los conocimientos necesarios para ser mejor como
futuro profesional

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	14
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	20
REFERENCIAS.....	23

Índice de tablas

Tabla 1. Características de los estudios	17
Tabla 2. Inducción de Categorías	17

Índice de figuras

Figura 1. Matriz de registro de artículos.....	14
---	-----------

RESUMEN

La etapa de coagulación es fundamental en el tratamiento de la calidad de agua, ya que hace posible la remoción de químicos disueltos y de las partículas que ocasionan la turbidez en el agua. Es por esto que el objetivo de esta investigación es estudiar cuál es el efecto los coagulantes naturales en la calidad de las aguas superficiales, a partir de análisis de artículos de investigación realizados en el periodo años entre el 2009 y el 2019. La metodología fue la siguiente, se encontraron 23 documentos en su mayoría artículos científicos extraídos de las fuentes de información llamadas SCIELO, Redalyc, Google Académico y Research Gate, de los cuales 3 fueron descartados. Para determinar los documentos a incluir se siguieron criterios de selección, siendo estos la base de datos, el limite temporal de 10 años, los autores y la universidad, si poseían Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y si tenían una estrecha relación de variables con las del presente estudio. Los artículos incluidos para la revisión se encuentran dentro del rango temporal entre el 2009 y el 2019, los resultados fueron documentos que presentan y detallan los efectos de utilizar diversos tipos de coagulantes naturales para el tratamiento de la calidad del agua. Se llegó a la conclusión de que en la mayoría de casos el efecto de los coagulantes naturales en la calidad de agua resulta ser positivo, llevando los distintos parámetros a niveles aceptables.

PALABRAS CLAVES: Aguas superficiales, coagulantes naturales, calidad de agua, tratamiento de agua

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los efluentes generados por las actividades del ser humano son descargados a cuerpos de agua tales como ríos o lagos, generando una gran contaminación en estos. Esta contaminación se ve potenciada debido al acelerado crecimiento poblacional y a la expansión urbana, generando impactos negativos en los recursos hídricos, y por consiguiente en las personas. Según la Organización Mundial de la Salud (2012), la ausencia de agua segura para el uso humano es una de las problemáticas principales a nivel mundial, debido a que la décima parte de enfermedades en el mundo se podría prevenir mejorando la calidad y el abastecimiento del agua. Debido a la polución el agua de ríos contiene polvo, microorganismos, virus y demás impurezas que resultan dañinas para la salud del ser humano. Es por esto que el uso de coagulantes naturales es una importante alternativa segura para el importante proceso fisicoquímico en el tratamiento de aguas (Olivero R. et al, 2013).

Los coagulantes son sustancias de origen natural o artificial que se añaden al agua para remover la carga orgánica, inorgánica y biológica, a través de la generación de productos insolubles que tienden a precipitar, eliminándole color, olor y turbiedad (Sandoval M. et al, 2013). Dentro de los coagulantes más utilizados está el sulfato de aluminio debido a que remueve los microorganismos y partículas en altos porcentajes, pero es fácilmente asimilable por los humanos. Es por esto que investigaciones recientes proponen el uso de coagulantes naturales en reemplazo de los sintéticos, ya que estos últimos además de generar enfermedades dan como producto lodos residuales que crean impactos adversos en el agua. Los coagulantes naturales no generan riesgo toxico al ser consumibles y los lodos que genera son biodegradables (Olivero R. et al, 2013).

Las aguas naturales y sin tratamiento alguno son llamadas aguas crudas, se encuentran en ríos, lagunas, arroyos y cualquier otro cuerpo de agua que el hombre usa para satisfacer sus necesidades. (Camacho, H. et al, 2019). Las aguas contaminadas generan impactos negativos en el ambiente y en el uso que le dan los humanos, es por esto que las aguas naturales muy raramente tienen una calidad aceptable para el uso humano o industrial y deben pasar por una serie de tratamientos, ya que para ser considerada de calidad satisfactoria debe estar libre de turbidez, de color y sabor, tener cierta temperatura, entre otros parámetros que debe cumplir. La calidad del agua y los tratamientos de esta están sumamente ligados. (Cabrera G. et al, 2016)

Las aguas naturales superficiales muy raramente poseen la importante calidad aceptable para el uso humano o industrial, por eso depende de los tratamientos que se le dan para eliminar las partículas y microorganismos que alteran los parámetros fisicoquímicos de estas aumentando así su calidad, y uno de los más importantes es el tratamiento primario, también llamado coagulación. Los coagulantes son sustancias capaces de remover la carga orgánica e inorgánica del agua, existen los coagulantes naturales que tienen grandes ventajas como su nula toxicidad y sus lodos biodegradables (Olivero R. et al, 2013). Por lo tanto, el mejor método para asegurar la buena calidad del agua es realizar el tratamiento de coagulación con coagulantes de origen natural.

Tomando en cuenta lo establecido en los párrafos anteriores, es imperativo investigar el uso de coagulantes de origen natural en la calidad de las aguas superficiales y como afecta a esta. Por lo tanto, en el presente estudio se formula la siguiente pregunta ¿Cuál es el efecto de los coagulantes naturales en la calidad de las aguas superficiales entre los años 2009 y 2019? Por consecuente, de esta interrogante nace el objetivo general de la presente investigación, que viene a ser estudiar cuál es el efecto los coagulantes naturales en la calidad

de las aguas superficiales, a partir de análisis de artículos de investigación realizados en el periodo años entre el 2009 y el 2019. La presente investigación encuentra su razón en que la etapa de coagulación es fundamental ya que hace posible la remoción de químicos disueltos y de las partículas que ocasionan la turbidez en el agua, así como también de microorganismos que a menudo se fijan a las partículas (Guzmán L. et al, 2013). Los coagulantes químicos, como el sulfato de aluminio, son los más utilizados, sin embargo, están relacionados al desarrollo de enfermedades. En un tema tan importante como lo es la calidad de las aguas y la contaminación de estas, se debe tener una solución que sea beneficiosa para el ambiente y para los seres humanos. Este estudio se realiza con el fin de investigar el uso de coagulantes naturales, ya que estos no son tóxicos y los lodos que generan son biodegradables. Por otro lado, busca estudiar la eficacia de los coagulantes naturales para mejorar la calidad de las aguas y generar un tratamiento sin adversidades para el medio ambiente y los humanos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Los documentos considerados relevantes para la presente revisión de carácter sistemático fueron de índole académica, siendo estos tesis, artículos científicos o artículos de revisión. Para determinar los documentos a incluir se siguieron criterios de selección, siendo el primer criterio el buscar en bases de datos con contenidos científicos, tales como SCIELO o Google académico, los conceptos clave del estudio para así poder encontrar investigaciones relacionadas al tema. Además, se estableció un límite temporal de 10 años entre el 2009 y el 2019 para la búsqueda de los estudios. Asimismo, se tuvo en cuenta los autores y la universidad de donde provenían estos artículos, así como también si estos contaban con Introducción, Metodología, Resultados y Discusión. Otro criterio a tomar en cuenta fue el buscar una estrecha relación entre las variables de las investigaciones incluidas con este estudio, siendo estas la calidad del agua y los coagulantes naturales.

Research Gate, en donde se encontró 1 artículo, es una red académica destinada a investigadores pertenecientes a cualquier ciencia, esta red permite dar a conocer publicaciones propias y colaborar con otros científicos. Redalyc, donde se encontró 1 documento, es una red que integra a su índice artículos científicos de libre acceso con el objetivo de difundir la actividad científica, sin fines de lucro. En Google académico se encontraron 15 artículos, siendo la mayor cantidad, ya que es un buscador que permite encontrar documentos de tipo académico de fuentes variadas como universidades, repositorios y editoriales que resultan útiles para alumnos, docentes e investigadores. Por último, se encontraron 6 documentos científicos en SCIELO, esta es una biblioteca electrónica diseñada para publicar de manera cooperativa revistas científicas de internet para responder las necesidades de comunicación científica.

En la presente revisión sistemática se utilizó la estrategia de buscar en las bases de datos SCIELO, Research gate, Redalyc y Google académico artículos científicos aprobados y tesis que se encuentren realizados dentro del periodo de 10 años que comprende desde el 2009 al 2019, para encontrar dichos documentos se usaron como términos claves “coagulante de origen vegetal”, “Coagulantes naturales”, “Cascaras como coagulantes”, “reducción de turbidez”, “aguas superficiales” y “Coagulación de aguas”. Los artículos y tesis buscados fueron en idioma español, siendo este el más adecuado para poder extraer información con el fin de realizar la investigación. Por otro lado, se procuró que los artículos científicos sean de universidades y estén aprobados.

Para esta investigación se tomaron en cuenta 23 documentos científicos, de los cuales 20 fueron incluidos para aportar al estudio y 3 fueron excluidos. Los documentos fueron incluidos bajo ciertos criterios, tales como que sus métodos y variables resultan de utilidad para la revisión, debido a que la información que contenían sobre estos coagulantes fue considerada valiosa, a que tuvieron como resultado un pH óptimo que puede ser usado en el presente estudio, a que trataron aguas de origen superficial y a que consideraron parámetros afines tales como la turbidez y el pH. Por otro lado, los documentos restantes fueron rechazados bajo la premisa de que mantenían su enfoque en aguas residuales de industrias, al predominante uso de coagulantes químicos y a que se encontraba fuera el rango temporal del 2009 al 2019.

El método para la extracción y selección de datos en este estudio se dio a través de la búsqueda de artículos en bases de datos y repositorios científicos bajo los criterios de tener relación con las variables y el poseer información valiosa, para luego plasmarlos en una matriz que clasificaba a los documentos según su base de datos, título de investigación,

universidad, autores, año, si es tesis, artículo científico o artículo de revisión, país, conceptos o variables, estrategia de búsquedas, objetivos, métodos del estudio, resultados, instrumentos de medición y conclusiones. Además, se revisó cada documento a fin de saber si eran útiles o no para esta investigación y así proceder a incluirlos o excluirlos. Luego se buscó la información necesaria dentro de los artículos incluidos y se revisó la referencia citada de donde se extrajo dicha información, todo esto con el fin de confirmar la veracidad de los datos presentados en los estudios.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Como resultado del presente estudio se encontraron 23 documentos científicos que guardaban relación con el presente estudio, sin embargo, 20 fueron los incluidos para la revisión debido a que cumplían con los criterios señalados. La mayor parte de estos fue encontrada en Google académico, contando con 12 artículos científicos extraídos de dicha fuente. En la base de datos Redalyc se encontró 1 documento, de igual forma, en Research Gate se seleccionó 1 artículo. Asimismo, de la biblioteca electrónica SCIELO se seleccionaron 6. Los estudios incluidos para la revisión se encuentran dentro del rango temporal de 10 años entre el 2009 y el 2019, además presentan y detallan los resultados de utilizar diversos tipos de coagulantes naturales para el tratamiento de la calidad del agua.

Estos resultados se dividieron en 1 figura y 2 tablas. La figura 1, Matriz de registro de artículos, detalla la cantidad de documentos incluidos, las diferentes bases de datos en las que estos se encontraron, los autores de dichos artículos, el año y el título, a modo de representar la búsqueda, inclusión y registro de los documentos.

Figura 1. Matriz de registro de artículos

Nº	BASE DE DATOS	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	Google Académico	Malena López Pérez	2018	Evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas
2	SCIELO	Rafael Olivero Verbel, Alexy Florez Vergara, Luis Vega Fellizola, Glenda Villegas de Aguas	2017	Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, Opuntia ficus y Moringa oleífera en clarificación de aguas
3	Google Académico	Luis Guzmán, Ángel Villabona, Candelaria Tejada, Rafael García	2013	Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión

4	Google Académico	Vásquez González Leonardo.	2013	Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana, Viscum album y Senna candolleana).
5	Google Académico	Hellen Barbarán Silva , Jhanny López Chávez, Julio Chico Ruíz	2017	Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (prunus persica) y palta (persea americana)
6	Google Académico	Jhon Jairo Feria Díaz, Sixto Bermúdez Roa, Ana María Estrada Tordecill	2014	Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú
7	Google Académico	Rafael Enrique Olivero Verbel, Iván Darío Mercado Martínez, Luz Elena Montes Gazabón	2013	Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal Opuntia ficus-indica
8	Google Académico	Natalia Fuentes Molina, Emiro José Molina Rodríguez, Carla Patricia Ariza	2017	Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al ₂ (SO ₄) ₃ para clarificación de aguas
9	Google Académico	Luis Guzman C., Arnufio Antonio Taron D., Antonio Nuñez M.	2015	Polvo de la semilla cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda
10	Google Académico	Hildebrando Ramírez Arcila, Jhoan Jaramillo Peralta	2015	Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua
11	SCIELO	David Choque Quispe, Yudith Choque Quispe, Aydeé M. Solano Reynoso, Betsy S. Ramos Pacheco	2018	Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua
12	SCIELO	Sonia E. Aguirre, Nelson V. Piraneque y Rosmery K. Cruz	2018	Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia
13	SCIELO	Carlos Banchón, Ricardo Baquerizo, Diego Muñoz, Leila Zambrano	2016	Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales
14	SCIELO	Patrícia G.S. Lédo, Raquel F.S. Lima, João B.A. Paulo y Marco A.C. Duarte	2009	Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleífera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad
15	RESEARCH GATE	Alvarado Carmona Ludying Natalia	2012	Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta "La Diana"
16	REDALYC	Sandoval Arreola, María Martha; Laines Canepa, José Ramón	2013	Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes

				metálicos en el tratamiento de aguas superficiales
17	Google Académico	Carrasquero, Sedolfo Jose; Montiel Flores, Stefany ; Faría Perche, Emily Daniela ; Parra Ferrer, Paola María; Marin Leal, Julio Cesar; Díaz Montiel, Altamira Rosa	2017	Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (<i>sonalum tuberosum</i>) y plátano (<i>musa paradisiaca</i>) en la clarificación de aguas
18	Google Académico	Hansel Camacho Oviedo, Diana Campos Núñez, Ivan Mercado Martinez, Néstor Cubillán Acosta, Grey Castellar Ortega	2019	Uso de las cáscaras de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo
19	SCIELO	Daniela Trujillo; Luisa Fernanda Duque; Juan Sebastián Arcila; Alejandro Rincón; Sebastián Pacheco; Oscar Fernando Herrera.	2014	Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano
20	Google Académico	Cabrera, Gabriela y Ramirez, Javier	2016	Almidón extraído de la yuca (<i>Manihot Esculenta</i> Crantz) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada Yamuesquer municipio de Potosi

Figura 1: Registro de los estudios encontrados teniendo en cuenta su título y procedencia, 12 pertenecen a la base de datos de Google Académico siendo este el mayor número.

A continuación, en la tabla 1 Características de los estudios ,se identificaron los artículos incluidos tomando en cuenta distintos factores como el tipo de documento, la frecuencia con la que estos fueron utilizados y la revista a donde pertenecen con el fin de caracterizarlos según la metodología usada.

Tabla 1. Características de los estudios.

Tipo de documento	F	%	Año de publicación	F	%	Revista de Publicación del artículo	F	%
Artículo científico	36	100	2009	2	5.6	Google Académico	2	
			2012	3	8.3	REDALYC	0	55.6
			2013	4	11.1	RESEARCH GATE	2	5.6
							3	8.3
			2014	10	27.8	SCIELO	1	
			2015	3	8.3		1	30.6
			2016	3	8.3			
			2017	2	5.6			
			2018	5	13.9			
2019	4	11.1						
TOTAL	36	100	TOTAL	36	100.0	TOTAL	3	
							6	100.0

Nota: Caracterización de los documentos según su tipo, año, revista y la frecuencia con la que se usaron.

Con respecto a la tabla 2, Inducción de Categorías, se extrajeron los aportes más importantes de la conclusión o discusión de los 20 artículos incluidos y se buscaron temas similares entre dichos aportes. Con dichas similitudes se crearon 5 categorías en las cuales se distribuyeron las contribuciones de los artículos.

Tabla 2. Inducción de Categorías

Categorías	Aportes
Efecto en las propiedades del agua	Al emplear el coagulante natural Opuntia ficus-indica se concluye que este es efectivo en muestras de turbiedad bajas, medias y altas, siendo de mayor eficacia en muestras de alta turbidez; igualmente, se comprobó que causa variaciones significativas en el pH y la conductividad de las muestras, significando una ventaja al no necesitar modificadores de pH

(López M,2018). Parámetros como pH y alcalinidad en las aguas tratadas con coagulante natural no mostraron cambios relevantes luego de la aplicación de las dosis, lo que es una ventaja sobre los coagulantes químicos, ya que no necesita de estabilización del pH ni acondicionamiento químico en el agua potabilizada. (Feria J. et al, 2014). El polvo de semilla de la C. fístula no afecta de mayormente los valores de pH, alcalinidad total y dureza total para la dosis óptima de 20 mg/L del coagulante, por encontrarse estos dentro de los rangos establecidos en la norma colombiana, por lo tanto, no necesita químicos para ajustar estas propiedades. (Guzmán L. et al, 2015). Los coagulantes naturales son prácticas para la remoción de la turbidez y el color del agua recolectada del río Magdalena. La característica más destacable es que estas sustancias cumplen su objetivo sin alterar el pH de las muestras. (Aguirre S. et al, 2018).

Diferencias clave con los coagulantes químicos

Existen diferencias favorables al usar coagulantes naturales, a diferencia del alumbre, en el tratamiento del agua son menores requisitos para la dosis del coagulante, genera cantidad reducida lodo residual, menor carga iónica del agua tratada y el costo se encuentra entre el 25–30%. (Guzmán L. et al, 2013). El sulfato de alúmina se diluyó en mayor grado en el agua del río que el Opuntia, a pesar de estar en igualdad de dosis de coagulante y velocidad de agitación, esto generó el aumento de sólidos disueltos totales en el agua posterior a su tratamiento. (Olivero R. et al, 2013). Los coagulantes naturales analizados requieren de más tiempo de contacto con el agua a fin de tener mejores resultados; a comparación del sulfato de aluminio que, en un periodo de corto contacto con el agua, mostró su eficacia para remover turbidez. (Fuentes N. et al, 2017). A pesar de que los lodos generados mediante coagulación natural son menos que por coagulación química, su capacidad de biodegradarse, grado de compactación y estabilidad del lodo son de mayor calidad. (Banchon, C. et al, 2016). Al comparar todas las formulaciones, se observa que la de cáscaras de papa, presentó un comportamiento similar en cuanto a la remoción de color respecto de la formulación patrón de sulfato de aluminio; estas dos formulaciones cumplieron con las normas. (Alvarado L., 2012) Para las semillas de Moringa oleífera se verificó que la eficiencia de remoción de turbiedad es ligeramente inferior a la observada con sulfato de aluminio, el uso de la primera puede justificarse por el hecho de representar una tecnología ambientalmente correcta. (Ledo P. et al, 2009)

Uso de coagulantes naturales como apoyo secundario

La combinación entre los coagulantes químicos con la moringa oleífera aumenta la eficiencia de los coagulantes en comparación a cuando son usados por separado, es decir, se observa un efecto sinérgico, ya que la combinación de ambos tiene en cuenta mecanismos de remoción complementarios. (Olivero R. et al, 2017). El empleo de materiales naturales puede minimizar el impacto de los coagulantes químicos, reduciendo de manera significativa los costos de tratamiento si se dispone de ellos a nivel local. La adición de coagulantes naturales, como ayudas de coagulación, reduce significativamente la dosis de productos químicos. (Ramirez H. y Jaramillo J., 2015). Se confirma que el coagulante obtenido de las semillas de Moringa Oleífera extraídas con soluciones salinas representa una alternativa en la remoción de turbidez y color de aguas superficiales. La eficiencia de remoción utilizando Moringa

	<p>Oleífera constituye un método de tratamiento competitivo con las sales metálicas de sulfato de aluminio. (Arreola S. et al, 2013)</p>
<p>Ventajas y el futuro de los coagulantes naturales</p>	<p>Las soluciones preparadas a partir de residuos vegetales pueden ser utilizadas como coagulantes primarios durante la potabilización de aguas debido a que la combinación coagulación, floculación, sedimentación y filtración permitió generar un efluente que cumpliera con los niveles deseables de color y turbidez establecidos en la normativa venezolana sanitaria vigente. (Carrasquero J. et al, 2017). Se abre la posibilidad de evaluar otros residuos agroindustriales que reduzcan las consecuencias adversas del coagulante químico, sulfato de aluminio, en la salud humana. Además, de contribuir a minimizar el impacto ambiental negativo valorizando la eliminación de estos residuos. (Camacho H. et al, 2019). El uso de coagulantes vegetales como complemento de las tecnologías para tratamiento de agua que va a ser sometida a potabilización, representa una oportunidad de investigación e innovación, pues soporta gran parte del desarrollo de la región, además de contribuir a la sostenibilidad generando nuevos valores agregados para las materias primas locales. (Trujillo D. et al, 2014)</p>
<p>Condiciones óptimas para el uso</p>	<p>La utilización de Huizache (<i>A. farnesiana</i>), a un pH de 8 y temperatura ambiente de 22°C como coagulante primario es capaz de remover el 60% de turbidez en aguas con baja turbiedad. Dichos resultados se encuentran en el rango de eficiencias para coagulantes naturales concluidos en otras investigaciones, sin embargo, esta coagulación está en el rango menor a comparación con otras sustancias naturales. (Vásquez L., 2013). El coagulante de semilla de durazno actúa de manera eficaz a una concentración óptima de 15 gr/L, reduciendo la turbidez en un 92.95%; y la semilla de palta redujo en un 48.92%. Además, las semillas utilizadas previamente se extrajeron las grasas y aceites, la cual es un factor limitante para su actividad coagulante según Martínez & Gonzales (2012) en su experiencia con tuna. (Barbaran H. et al, 2017). Los parámetros fisicoquímicos del agua residual artificial tratada con los tres coagulantes naturales extraídos con los diferentes solventes, como el pH muestran diferencia significativa, incrementándose ligeramente de 6.61 del agua sin tratar a 7.58, mientras que la dureza y la alcalinidad no muestran diferencia significativa. (Choque D. et al, 2018)</p>

Nota: Sistematización de los estudios y sus aportes a través de categorías formadas según su contenido.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La sistematización de los distintos aportes de las 20 investigaciones incluidas dio como resultado la creación de 5 categorías diferentes según su contenido y la distribución de dichos aportes. En la categoría que trata del efecto en las propiedades del agua, se destaca la relevante propiedad de que estas sustancias naturales cumplen con su objetivo sin generar cambios relevantes en parámetros como el pH, alcalinidad o conductividad, generando una gran ventaja al no ser necesario añadir químicos modificadores. La categoría “diferencias clave con los coagulantes químicos” profundiza en los diferentes contrastes entre ambos métodos, tales como la menor producción de lodos y un menor costo al utilizar coagulantes naturales, asimismo, se recalca que esta alternativa natural necesita de un mayor tiempo de contacto con el agua a tratar y que los coagulantes químicos, en este caso el alumbre, se diluye en mayor grado que los naturales a pesar de estar en las mismas condiciones dando como resultado un aumento en los sólidos disueltos totales. La categoría que abarca la posibilidad del uso de coagulantes naturales como apoyo secundario, resalta que la combinación entre estos dos tipos de coagulantes tiene un efecto sinérgico, debido a que sus mecanismos de remoción se complementen, aumentando así su efectividad. De igual manera, indica que el uso de las sustancias naturales como complemento reduce los impactos del tratamiento químico y disminuye los costos de manera significativa. En la categoría que explica las ventajas y el futuro de los coagulantes naturales, se verifica la efectividad de los coagulantes hechos con residuos vegetales al tratar efluentes llevando parámetros como el olor y la turbidez a valores permitidos bajo la norma sanitaria, también presenta la idea de evaluar otros residuos naturales para reducir los efectos negativos de los químicos y dar un valor agregado a estos residuos. La categoría “condiciones óptimas para el uso de los coagulantes naturales” detalla los factores adecuados como el nivel de pH y la temperatura

ideal con el fin de que los coagulantes actúen en su mayor capacidad posible. Asimismo, especifica que en un estudio el tratamiento sí generó cambios ligeros en el pH del agua debido a que se utilizaron solventes en el proceso de extracción, por lo tanto, para conseguir los mejores resultados se debe utilizar sustancias y solventes que no afecten al pH del agua si no es lo que se busca.

Según las investigaciones realizadas por López M. en el 2018, que al aplicar el coagulante natural *Opuntia ficus indica*, además de ser de gran efectividad para tratar aguas con turbiedad baja, media y alta, se comprueba que no genera variaciones significativas en parámetros importantes como la conductividad o el pH de las muestras, representando una ventaja al no necesitar químicos adicionales que modifiquen el pH. De igual manera, Guzmán L. en su investigación del 2015 aclara que al usarse el polvo de semilla de la *C. fístula* como coagulante no afecta de manera significativa valores de pH, alcalinidad total y dureza total, ya que estos se encontraron dentro de los rangos establecidos en la norma colombiana. Dichos resultados dan a entender que una de las diferencias más relevantes es que las sustancias naturales utilizadas no afectan el pH y otros parámetros del agua. Sin embargo, la investigación de Choque D., et al en el 2018 señala que el agua residual tratada con los coagulantes y los diferentes solventes generan una diferencia en el pH, incrementando ligeramente de 6.61 a 7.58, mientras que en otras características como dureza o alcalinidad no muestra cambios. Este cambio en el pH se debe a distintos factores como el tipo de agua a tratar, la sustancia natural utilizada y, de carácter más relevante, los solventes utilizados para extraer dichas sustancias, esto indica que para un desempeño óptimo se debe buscar

solventes y sustancias que no interfieran en los parámetros del agua de manera significativa. Teniendo en cuenta que Ledo P. en su estudio del año 2009 señala que, a pesar de que Moringa oleífera dio resultados que comprueban su eficiencia al reducir turbidez, es ligeramente menos eficiente que el sulfato de aluminio, concluyendo así que el uso de esta sustancia natural se justifica por el hecho de ser una alternativa ecológica y ambientalmente aceptable. Esto da como posibilidad al uso de coagulantes naturales como complemento del tratamiento convencional, Ramírez H. y Jaramillo J. en su investigación del año 2015 fundamentan esta posibilidad al concluir que estas sustancias naturales, muy aparte de reducir el impacto de los químicos, si se añade como apoyo para la coagulación puede reducir significativamente la dosis necesaria de estos últimos.

Al corroborar los aportes de los 20 estudios que se escogieron como resultado de la presente revisión, se llegó a la conclusión de que los coagulantes tienen un efecto positivo en la calidad del agua y el tratamiento de esta. Presentando cualidades como la efectividad en la remoción de turbidez, color y demás parámetros que disminuyen el nivel de calidad, así como también resulta ser una alternativa ambiental y con menos impactos negativos que los químicos, reduciendo costos y generando lodos biodegradables como resultado de su uso.

Los aportes tuvieron 5 categorías, el efecto de estos coagulantes en las propiedades del agua, resaltando que no genera variaciones importantes en el pH y la conductividad, descartando así la necesidad de algún químico modificador de pH. Las diferencias clave con los coagulantes químicos, como la generación de lodos biodegradables o su bajo costo. El uso de coagulantes como apoyo secundario, al tener un efecto sinérgico con los químicos y complementando la remoción. Las ventajas y el futuro de los coagulantes naturales, al poder estudiar gran variedad de residuos orgánicos para que sirvan como alternativa ecológica al

tratamiento químico y las mejores condiciones para su uso, presentando pH, temperatura o dosis óptimas para diferentes situaciones en los distintos estudios

La revisión sistemática se puede emplear para conseguir la información con mayor veracidad sobre algún tema científico o de investigación, revisando distintos documentos que contribuyan al estudio. Sin embargo, posee límites como el espacio temporal ya que existen artículos antiguos con información desactualizada y la diferencia de idiomas entre artículos. Para futuras revisiones es recomendable considerar integrar estudios que estén en otros idiomas, no solo en español, para poder así tener un mayor rango de búsqueda.

REFERENCIAS

Aguirre S., et al (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información Tecnológica*, vol. 29 (3), 59 – 70.

Alvarado L., (2012). Uso de las Cáscaras de Papa como Coagulante Natural en el Tratamiento de Aguas Potables de la Planta "La Diana". *Publicaciones e Investigación*, vol. 6, 116-121.

Arreola S., et al (2013). Moringa oleífera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*, vol. 17 (2), 93-101.

Banchon C., et al (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, vol. 7 (4), 111-126

Barbaran H., et al (2017). Remoción de la turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas de durazno (*prunus persica*) y palta (*persea americana*). *SAGASTEGUIANA*, vol. 5 (1), 7-16.

Cabrera G., et al (2016). Almidón extraído de la yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) como coagulante alternativo para tratamiento del agua de la quebrada Yamuesquer municipio de Potosi (UNIVERSIDAD DE NARIÑO). Recuperado de <http://sired.udenar.edu.co/2962/>

Camacho Oviedo, H., et al. (2019). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. *Investigación E Innovación En Ingenierías*, 8(1), 100-111.

Carrasquero J., et al (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*sonalum tuberosum*) y plátano (*musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 13 (2), 90-99.

Choque D., et al (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, vol. 38 (2), 298-309

Feria J., et al (2014). Eficiencia de la semilla Moringa Oleífera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. *Producción + Limpia*, vol. 9 (1), 9-22.

Fuentes N., et al (2017). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del $Al_2(SO_4)_3$ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, vol. 11 (2), 41-54.

Guzmán L., et al (2015). Polvo de la semilla cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 13 (2), 123-129.

Guzmán, L. et al (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, vol. 16 (1). 253-254.

Ledo P., et al (2009). Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleífera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. *Información Tecnológica*, vol. 20 (5), 3-12.

López M. (2018). *Evaluación del uso de la cactácea opuntia ficus-indica como coagulante natural para el tratamiento de aguas*. (Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3541/lopez-perez-malena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Olivero R., et al (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, vol. 8 (1), 19-27.

Olivero, R. et al (2017). Evaluación de una mezcla para coagulantes naturales, *Opuntia ficus* y *Moringa oleífera* en clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, vol. 12 (Nº 2). 73.

Ramírez H. y Jaramillo J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Facultad de ciencias básicas*, vol. 11 (2), 136-153.

Sandoval M., et al. (2013). *Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería*. 17(2),93-101

Trujillo D., et al (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *ION*, vol. 27 (1), 17-34.

Vásquez L. (2013). Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farnesiana, Viscum album y Senna candolleana). *NATURALEZA Y DESARROLLO*, vol. 11 (1), 30-41