

REVISIÓN DEL USO DE COAGULANTES NATURALES EN EL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA EN COLOMBIA

REVISION OF THE USE OF NATURAL COAGULANTS IN THE PROCESS OF WATER CLARIFICATION IN COLOMBIA

Fredy Leonardo Castellanos P.
Ingeniero ambiental y sanitario
fcastellanos0393@gmail.com

*Especialización de Planeación ambiental y manejo integral de los recursos
naturales*
Universidad Militar Nueva Granada

Bogotá, Colombia. 2017

RESUMEN

La clarificación del agua es el proceso más importante de tratamiento de aguas potables, sin embargo su aplicación requiere de recursos económicos a los que toda la población no tiene acceso. Para el éxito de este proceso es necesario la adición de coagulantes químicos, cuyo uso trae consecuencias negativas asociadas a la salud humana y al medio ambiente. Por lo expuesto anteriormente, es necesario la búsqueda de alternativas que incluyan el uso de coagulantes de origen natural, por lo tanto en este trabajo se realizó una revisión de los coagulantes naturales utilizados para la remoción de turbidez y color en Colombia. Se planteó una metodología cualitativa y descriptiva filtrando la información con respecto al año de publicación; del año 2000 en adelante; y la localización geográfica; Colombia. Se encontraron 7 coagulantes naturales, clasificados en extractos vegetales (*Opuntia ficus-indica*, *Moringa oleífera*, *Ipomoea incarnata* y *Cassia fistula*), almidones (plátano y maíz) y agentes de origen animal (Quitosano). Se concluyó que los coagulantes naturales identificados en esta revisión alcanzan porcentajes de remoción de turbidez y color semejantes a los de los coagulantes inorgánicos, sin embargo los beneficios para la salud humana y el ambiente, hacen de estos una alternativa viable para el tratamiento de aguas potables en zonas rurales y urbanas.

Palabras clave: Coagulante natural, clarificación del agua, Coagulación, floculación.

ABSTRACT

The water clarification is the most important drinking water treatment process, however its application requires economic resources that not all the population have access to. The addition of coagulant chemicals, which brings negative consequences associated with human health and the environment is necessary for the success of this process. For the reasons above, its necessary the search for alternatives involving the use of coagulants from natural origin, therefore in this work, we conducted a revision of Natural coagulants used for the removal of turbidity and color in Colombia. A qualitative and descriptive methodology was proposed, filtering the information with respect to the year of publication; from the year 2000 onwards; and geographical location; Colombia. 7 natural coagulants were found, classified in vegetal extracts (*Opuntia ficus-indicates*, oleífera *Moringa*, incarnata *Ipomoea* and *Cassia fistula*), starches (banana and maize) and agents of animal origin (Chitosan). It was concluded that the identified natural coagulants in this revision reach similar percentages of turbidity and color removal to those of inorganic coagulants, however the benefits for the human health and the environment, make of these a viable alternative for the drinking water treatment in countryside and urban areas.

Key words: Natural coagulant, water clarification, coagulation, flocculation.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad millones de personas que viven en países en vías de desarrollo, no tienen acceso al agua potable, lo que representa un grave riesgo para salud, esta situación obliga a la población a consumir agua directamente de ríos y vertientes captadores de vertimientos de aguas residuales sin tratar. Los vertimientos de aguas residuales generalmente se caracterizan por contener niveles altos de sólidos, nutrientes, metales pesados y patógenos, componentes causantes de la contaminación del agua y efectos sobre la salud de la población. Como sistemas de tratamiento de sólidos suspendidos y disueltos encontramos la coagulación que es un proceso donde se busca con la aplicación de un coagulante químico, la desestabilización y agregación de partículas coloidales y disueltas para formar agregados de flóculos que pueden ser sedimentados y removidos por la acción de la gravedad por el proceso de floculación (Kiely, 1999). Los coagulantes agregados pueden ser clasificados como inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales.

Los procesos de coagulación y floculación para la clarificación del agua en términos de color y turbidez, requieren de cierta infraestructura e inversión, que para los países en vías de desarrollo con medios económicos limitados es imposible adquirirlos, por esto es necesario identificar y evaluar alternativas de coagulantes más efectivas, con la finalidad de sustituir o complementar el tratamiento de aguas convencional. Por esta razón en este trabajo de investigación se identificaran los coagulantes naturales utilizados en Colombia como alternativa de procesos convencionales de remoción de color y turbidez, por medio de la revisión de investigaciones realizadas en Colombia, donde se identifica la eficiencia de remoción de color y turbidez.

MARCO CONCEPTUAL

Para la adecuada comprensión del contenido de esta revisión es necesario entender el concepto de clarificación del agua, junto con los procesos que hacen posible el desarrollo de este. Por lo tanto a continuación se definirán los conceptos de clarificación del agua, coagulación, floculación y sedimentación, además de algunos parámetros relacionados con el desarrollo de estos procesos.

Clarificación del agua

La clarificación del agua tiene por objeto la remoción de sólidos suspendidos y partículas coloidales disueltas, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad por acción de la gravedad. Es un proceso

que puede ser utilizado en sistemas de tratamiento de aguas municipales con el fin de obtener agua potable para consumo humano, como en sistemas de tratamiento de aguas industriales (Cogollo Flórez, 2011).

La clarificación incluye los subprocesos de coagulación. Floculación y sedimentación.

Coagulación

El proceso de coagulación utiliza lo que se conoce como un coagulante químico (sal de aluminio o hierro) para promover la agregación de partículas. Antes de identificar el coagulante ideal, deben identificarse las propiedades específicas de las partículas en suspensión (impurezas). Estas son: su clasificación y carga eléctrica. La clasificación determina si una partícula en suspensión tiene afinidad para la adsorción de agua o no.

Los coagulantes químicos se añaden al agua bruta y se lleva a cabo una mezcla rápida durante un breve periodo (20 a 60 s), con el objetivo de formar un microflóculo. Habiéndose formado el microflóculo, el objetivo entonces es producir un floculo de tamaño adecuado que se pueda sedimentar por gravedad. El proceso siguiente es someter la solución a un procedimiento de floculación lenta durante un periodo de 20 a 60 min a velocidades de agitación muy lentas.

La cantidad de coagulante químico necesario para una cantidad concreta de agua bruta se puede determinar mediante el ensayo de coagulación o ensayo de jarras en laboratorio. El ensayo de jarras está compuesto de varios vasos de laboratorio de un litro con muestras de agua bruta. A cada uno se le añade una cantidad distinta y creciente de coagulante y le sigue una mezcla rápida. Se deben dejar sedimentar las muestras y la muestra con las mejores características se sedimentación se selecciona como coagulante (Kiely, 1999).

Coagulantes utilizados

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- Sulfato de aluminio
- Aluminato de Sodio
- Cloruro de Aluminio
- Cloruro Férrico

Sulfato Férrico
Sulfato Ferroso
Poli electrolitos (como ayudantes de floculación).

Coagulantes naturales

La coagulación-floculación con productos naturales y posterior sedimentación es un tratamiento muy extendido en zonas en las que la escasez de agua viene acompañada de falta de electricidad y de medios técnicos. La técnica, consiste en el empleo de semillas de cultivos o plantas endémicas, para purificar el agua empleando las propiedades coagulantes e incluso antibióticas de algunas semillas (García, 2007).

Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Sucedan que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados.

La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso (Cárdenas & SEDAPAL, 2000).

Sedimentación

La sedimentación es el proceso a través del cual los sólidos suspendidos en el líquido son separados de este mediante el efecto de la gravedad, por lo tanto los floculos más densos que el agua van a alcanzar una velocidad que les permita llegar al fondo de la unidad de sedimentación en determinado tiempo, para ser posteriormente removidos (Fernández Acuña, 2015).

Parámetros involucrados en el proceso de clarificación del agua

Color

Es una percepción óptica regida por el fenómeno de Tyndall-Faraday y su resultado es la afectación del aspecto estético del agua. Es generado por sustancias disueltas (en solución) que pueden tener distintos orígenes:

- a. Orgánico: generado por sustancias como ácidos húmicos y fulvicos, derivados de la descomposición de vegetales.
- b. Mineral: causado, frecuentemente, por hierro y manganeso presente en los sustratos geológicos en donde subyace o discurre la fuente hídrica.
- c. Industrial: provocado, por ejemplo, por descargas de aguas residuales industriales textiles o papeleras.

Las unidades de medición del color son las unidades de Platino Cobalto (UPC) o, simplemente, Unidades de color (UC). Se mide usualmente en colorímetros o fotómetros. Si no se han removido partículas en suspensión (turbiedad) de la muestra, haciéndola pasar por un papel filtro de 0,45 micras de poro, la medida de color será Color aparente; si la turbiedad se remueve antes, la medida será Color verdadero. El color no deberá sobrepasar de las 15 UPC en aguas de consumo (Lozano Rivas & Lozano Bravo , 2015).

Turbiedad o Turbidez

Es una percepción óptica regida por la ley de Beer, resultante de la dificultad del paso de la luz de una muestra de agua. Esta causada por sustancias y material no soluble en suspensión (entre 1 y 1.000 nanómetros) tales como:

- a. Arcilla (principalmente)
- b. Sedimentos
- c. Partículas orgánicas coloidales
- d. Plancton.
- e. Microorganismos.

La turbiedad es una medida indirecta de la cantidad de partículas coloidales en suspensión en una muestra de agua. Estas partículas pueden provenir de los procesos erosivos ocasionados por deforestación en la cuenca hidrográfica o por el arrastre de sedimentos del cauce de la corriente, así como por la presencia excesiva de microorganismos o por la influencia de vertidos domésticos, industriales o agropecuarios. El nivel de turbiedad se expresa en UNT (unidades nefelométricas de turbiedad) y se mide en aparatos llamados turbidímetros (Lozano Rivas & Lozano Bravo , 2015).

Es necesario tener claro el procedimiento utilizado para determinar la dosis óptima de reactivo químico que requiere el agua cruda para ser tratada, mediante

los ensayos de coagulación, floculación y sedimentación. Este procedimiento es denominado “Método de jarras”, y está establecido en la NTC 3903.

MATERIALES Y MÉTODOS

METODOLOGIA

Se realizó una revisión aplicando un enfoque cualitativo y descriptivo en términos de los resultados encontrados de los diferentes estudios experimentales del uso de coagulantes naturales para el proceso de clarificación del agua o remoción de color y turbidez, y así identificar los extractos naturales utilizados en Colombia y su eficiencia.

1. Revisión bibliográfica de los coagulantes naturales evaluados y estudiados en Colombia

Para la realización de la revisión bibliográfica se acudió a fuentes de información como artículos científicos, libros y trabajos de grado provenientes de bases de datos o en motores de búsqueda. Se realizara un primer filtro de información que corresponde al año de publicación; del año 2000 en adelante; y la localización geográfica; Colombia.

2. organización y análisis de la información

En esta etapa se organizó sistemáticamente la información de la más relevante a la más general, por medio del nivel de detalle de la investigación, es decir, que evalué metodologías de extracción, pruebas de laboratorio y porcentaje de eficiencia.

Los artículos obtenidos también se clasificaron dependiendo de la calidad del artículo, evaluando si la información proviene de fuentes confiables, como revistas nacionales e internacionales.

3. Determinación del agente vegetal que presenta mayor eficiencia como coagulante a partir de la revisión bibliográfica.

Por medio de la información obtenida en las anteriores etapas, se identificó el agente vegetal con mayor porcentaje de eficiencia con respecto a la remoción de color y turbidez.

Una vez realizado paso a paso de esta metodología se discutieron los resultados encontrados y se determinaron los beneficios y oportunidades del uso de coagulantes naturales como alternativa para la clarificación del agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se realizara la descripción de los coagulantes naturales encontrados en esta revisión, donde se encuentran clasificados según su origen en: especies vegetales, almidones y agentes de origen animal.

Especies vegetales utilizadas para coagulación en Colombia

Opuntia ficus-indica

Villabona *et al*, (2013) evaluaron el poder coagulante de la planta de Tuna por medio de pruebas de jarras a una muestra de agua cruda natural que fue obtenida del Canal del Dique, corregimiento de Arjona – Bolívar. Se analizó el efecto del coagulante sobre el color, la turbidez residual y el pH de la muestra obtenida.

Según el estudio las condiciones iniciales del color, turbidez y pH de la muestra de agua cruda fueron de 167,99 UPC, 170,96 NTU y 7,8 respectivamente. Después de que el agua fue tratada con el coagulante, se observó que las muestras presentaron medidas de color entre 78 y 88 UPC, y de turbidez entre 46 y 80 NTU. Los porcentajes máximos de remoción que se obtuvieron en este estudio fueron del 54% de color y 72% de turbidez, aplicando una dosis de 90 mg/L del coagulante estudiado. También se encontró que el coagulante adicionado no altera en gran medida el pH del agua tratada (Villabona *et al*, 2013).

Los valores obtenidos de color y turbidez luego del uso del coagulante no cumplen con las características mínimas exigidas por el decreto 1575 del 2007, sin embargo, es importante tener en cuenta que la calificación del agua es uno de los primeros procesos utilizados en el tratamiento de aguas, por lo tanto la remoción de solidos suspendidos, color y turbidez aumenta durante el tratamiento restante.

Por otra parte Olivero *et al*, (2013) evaluaron la eficiencia de este coagulante en muestras de agua cruda obtenidas del río Magdalena en el Canal del dique, encontrando condiciones iniciales de 276 de turbidez (NTU), pH de 7.22 y solidos disueltos de 72.22 mg/L. Luego de los ensayos de jarras, se encontró que el menor valor registrado de turbidez del agua tratada con *Opuntia* como coagulante fue 18,63 NTU y se consiguió al utilizar una dosis de 40 mg/L. Los resultados de este estudio muestran que al emplear el coagulante natural se logró remover entre 92.39 y 93,25% de la turbidez del agua del rio Magdalena, sin haber simulado la fase de filtración del proceso de potabilización del agua.

Las eficiencias obtenidas en estos estudios muestran que la remoción de color y turbidez de *Opuntia* depende de la concentración de los parámetros evaluados, de la dosis de coagulante aplicada a la muestra, las condiciones del agua cruda y el procedimiento realizado en laboratorio, por lo tanto los resultados de eficiencia pueden variar significativamente, tal y como se puede observar en los estudios anteriormente mencionados donde se identifica un rango de eficiencia entre 72% y 93,25% de remoción de turbidez.

Moringa oleífera

Cabrera *et al*, (2017) en su investigación de coagulantes naturales, evaluaron la eficiencia de *Moringa oleífera* en la clarificación del agua por medio de la medición de la turbidez, encontrando que para una muestra de agua residual industrial de 920 NTU, se obtuvo un porcentaje de remoción del 99.29%, reduciendo la turbidez a 6.54 NTU.

A su vez Salazar *et al*, (2015) compararon la *Moringa oleífera* con el coagulante comúnmente más utilizado como lo es el sulfato de aluminio, en muestras de agua provenientes de los arroyos Santa Helena y Picacha, ubicados al oriente y al suroeste de Medellín. En la caracterización fisicoquímica de los arroyos mencionados encontraron turbidez y color de 47 NTU y 220 PCU para el arroyo Santa Helena y 3050 NTU y 7900 PCU para el arroyo Picacha. En las tablas 2 y 3 se podrá observar la eficiencia de remoción de turbidez y color de *Moringa oleífera* en el arroyo Picacha.

Tabla 1. Comportamiento de *Moringa oleífera* y sulfato de aluminio en la remoción de Turbidez del arroyo Picacha.

Coagulante	Dosis (ml)	Concentración en el ensayo de jarras (mg/L)	Turbidez (NTU)	Porcentaje de remoción
<i>M. oleífera</i>	3,5	219	2,5	99,9
	4	250	1,5	100
	4,5	281	1	100
	5	312	1	100
	5,5	344	1,5	100
	6	375	1	99,8
Sulfato de aluminio	2	125	9	99,9
	2,5	156	4	99,9
	3	186	3	80
	3,5	219	1	100
	4	250	1	100
	4,5	281	1	100

Fuente: Salazar et al, (2015), Adaptado por autores.

Como se puede observar en la Tabla 1, *M. oleífera* presenta eficiencias de remoción de turbidez similares al sulfato de aluminio, alcanzando el 100 % de eficiencia con una dosis de 4 ml, valor que evidencia la capacidad coagulante que posee este extracto natural.

Tabla 2. Comportamiento de *Moringa oleífera* y sulfato de aluminio en la remoción de Color del arroyo Picacha.

Coagulante	Dosis (ml)	Concentración en el ensayo de jarras (mg/L)	Color (PCU)	Porcentaje de remoción
<i>M. oleífera</i>	3,5	219	9	99,9
	4	250	4	100
	4,5	281	3	100
	5	312	1	100
	5,5	344	1	100
	6	375	1	100
Sulfato de aluminio	2	125	4	100
	2,5	156	2	100
	3	186	2	100
	3,5	219	5	99,9
	4	250	24	99,7
	4,5	281	40	99,5

Fuente: Salazar et al, (2015), Adaptado por autores.

Por medio de los estudios identificados de *Moringa oleífera* se evidencia su capacidad de remoción de color y turbidez, obteniendo resultados de 100% de eficiencia, lo que muestra los beneficios que se pueden obtener de este coagulante natural.

Un parámetro interesante de evaluar es la cantidad de algas presente en las aguas residuales que requieren tratamiento, ya que “con la eliminación casi completa de este parámetro se excluye la existencia de color y la turbidez en el agua” (Dearmas & Ramírez, 2015). El mismo autor obtuvo un porcentaje de remoción de algas por parte de *M. oleífera* de 85,45%, valor que representa la amplia capacidad que tiene este coagulante natural para el tratamiento de aguas. Estos porcentajes de eliminación de algas están directamente relacionados con la disminución de nutrientes como el fosforo.

M. oleífera presenta eficiencias iguales o más altas que el sulfato de aluminio, coagulante químico actualmente más usado para la clarificación del agua. Esto quiere decir que existe la posibilidad de evitar el uso de químicos para el tratamiento de aguas, por lo tanto este proceso se hace accesible para el uso en zonas económicamente limitadas y sin infraestructura apropiada para este tipo de tratamiento.

Sin embargo, el análisis de costo de este coagulante natural frente al sulfato de aluminio realizado por Mendoza *et al*, (2000) muestran que los costos de tratamiento son excesivamente altos en comparación con los del sulfato de aluminio, esto se debe al uso de éter de petróleo y alcohol isopropílico para la eliminación de la grasa presente en las semillas, ya que *M. oleífera* posee aproximadamente un 40% de su peso en grasa, la cual no cuenta con propiedades coagulantes.

Los coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio son hasta ahora los más usados y eficientes en el tratamiento de aguas potables, sin embargo CONAGUA, (2013) citado en Mera, Gutiérrez, Montes, & Paz, (2016) el aluminio residual en el agua de consumo humano puede ser nocivo para la salud ya que afecta gravemente el sistema nervioso central.

Ipomoea incarnata

Cabrera *et al*, (2017) utilizaron el método soxhlet para extraer las propiedades coagulantes de una planta de la familia *convolvulácea* genero *Ipomea*, en la clarificación de agua residual industrial antes y después de ser tratada con diferentes coagulantes. En la siguiente tabla se muestran los valores de la turbidez de una muestra de agua residual industrial antes y después de ser tratada con diferentes coagulantes.

Tabla 3. Resultados de remoción de turbidez con los diferentes coagulantes

Coagulantes	Turbidez inicial (NTU)	Turbidez final (NTU)	Porcentaje de remoción (%)
Sulfato de aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃)	920	8,62	99,06
Sulfato de cobre (CuSO ₄)		17,86	98,06
Sulfato de hierro III (FeSO ₄)		8,17	99,11
Sulfato de hierro II		12,07	98,69
<i>Ipomoea incarnata</i>		7,51	99,18

Fuente: Cabrera *et al*, (2017)

Con los resultados de las pruebas de jarras, Cabrera *et al*, (2017) observaron que el coagulante natural *Ipomoea Incarnata* logró alcanzar un porcentaje de remoción de la turbidez en un 99,18%, que al compararlo con los resultados

obtenidos por los coagulantes convencionales; se logró evidenciar que los de origen natural alcanzan una mayor eficiencia en cuanto al tratamiento de este parámetro.

Ipomoea Incarnata junto con otros agentes vegetales logran superar las eficiencias de remoción de color y turbidez del sulfato de aluminio, sulfato de cobre y sulfato de hierro, por lo tanto es válido afirmar que los coagulantes naturales son una alternativa viable (en términos de remoción de color y turbidez) para la clarificación del agua, sin embargo es necesario complementar este proceso con tratamientos secundarios, ya que la clarificación del agua consiste en la remoción de sólidos suspendidos y partículas coloidales disueltas, pero no remueve efectivamente metales pesados, DQO, DBO y microorganismos, por lo tanto con la aplicación de este tratamiento no es posible cumplir los límites permisibles de los parámetros de agua para el consumo humano u otros usos.

Cassia fistula

Para la investigación de este coagulante natural Guzmán, Taron, & Núñez, (2015) utilizaron agua cruda tomada del canal del Dique y en su caracterización presentó valores de 120 NTU, 200 UPC y pH de 6,53. Para la elaboración del coagulante de *C. fistula*, las semillas de seleccionaron, recolectaron y fueron expuestas al sol durante 8 días, luego fueron molidas hasta obtener un polvo de consistencia fina o agente coagulante.

Una vez obtenido el polvo de *C. fistula*, se utilizó en la prueba de jarras para determinar sus propiedades coagulantes. Los resultados de las pruebas de jarras encontraron que con una dosis de 20 mg/L del agente coagulante, se alcanzan porcentajes de remoción de 87,25% y 95 % para color y turbidez respectivamente (Guzmán, Taron, & Núñez, 2015).

Los porcentajes de remoción de *C. fistula* confirman sus propiedades coagulantes para la remoción de color y turbidez, siendo una alternativa económicamente viable, ya que la producción del coagulante consiste únicamente en la selección manual de semillas y la trituración de estas para el posterior uso, beneficio que podría ser aprovechado por poblaciones rurales de escasos recursos para el tratamiento de aguas potables y residuales.

Almidones utilizados para coagulación en Colombia

Uno de los tipos de coagulantes naturales identificados en esta revisión son los almidones, los cuales se encuentran en abundancia en el reino vegetal y constituye la mayor reserva de carbohidratos de las plantas. Entre las principales fuentes de almidón que podemos encontrar en Colombia son el maíz, yuca, papa, arroz, trigo, sagú, sorgo y araruta (Rodríguez, Lugo, Rojas, & Malaver, 2007).

Almidón de Plátano

Para el estudio de remoción de turbiedad mediante coagulación y floculación usando almidón de plátano Trujillo *et al*, (2014) realizaron prueba de jarras para tratar una muestra de agua tomada de una fuente natural del sector El Cerro de Oro de la ciudad de Manizales (Colombia), utilizando el almidón de plátano que fue desechado de la plaza de Manizales por no cumplir las normas y estándares de calidad. El almidón de plátano se utilizó como coadyuvante del sulfato de aluminio para el proceso de floculación.

El beneficio de utilizar este agente como auxiliar del sulfato de aluminio para el proceso de floculación es la reducción del uso de agentes químicos para el tratamiento de aguas potables y el posterior ahorro de costos.

La eficiencia de remoción de turbidez para este almidón fue de 98,9 %, se presentó utilizando la combinación sulfato aluminio/almidón de plátano 50:50 en peso, corroborando las propiedades químicas del almidón como agente gelificante y espesante. Sin embargo la influencia para este resultado implicó valores de pH 5 y una velocidad de mezcla lenta de 20 rpm (Trujillo *et al*, 2014).

Almidón de maíz

El almidón de maíz fue evaluado en agua cruda de la Quebrada de Las Delicias en Bogotá D.C., la cual presentó una turbiedad promedio de 175 NTU y 70 UPC de color. En los resultados de los ensayos de jarras se encontró que al utilizar almidón de maíz con una dosis óptima de 20 mg/L los valores de turbiedad y color se encuentran por debajo de 1.0 NTU y 25 UPC respectivamente (Rodríguez, Lugo, Rojas , & Malaver , 2007).

Agentes de origen animal utilizados para coagulación en Colombia

Polímero Quitosano

Rodríguez, De la Cruz, López, Ricaurte, & Morales, (2015) utilizaron quitosano comercial Sigma Chemical Co. Los (QC) para evaluar la eficiencia como coagulante durante el tratamiento de agua cruda proveniente de la cuenca media del río Guatapurí donde se encuentran las plantas de tratamiento de agua potable denominadas: La gota Fría y Huaricha de la empresa de servicios públicos del municipio de Valledupar, Cesar, Colombia. La solución coagulante se obtuvo disolviendo el QC en ácido acético al 5%, preparando soluciones coagulantes al 1,0%.

Las aguas del río Guatapurí se caracterizaron por presentar valores promedio de pH de 7,40 y 7,49, y turbidez entre 100 y 1500 NTU. El quitosano como coagulante presentó remociones de turbidez que superan el 96%, además como

coagulante natural presenta las características suficientes puesto que es biodegradable y no es toxico (Rodríguez *et al*, 2015).

Un factor importante que diferencia el quitosano de los coagulantes convencionales es que la aplicación del quitosano no reduce significativamente el pH del agua y no es necesario el uso de sustancias alcalinas como carbonato de calcio, hidróxido de calcio o hidróxido de sodio para neutralizar el pH antes de enviarlo a las redes de distribución.

Coagulantes naturales identificados

La tabla 4 presenta los coagulantes naturales identificados en esta revisión, donde se podrá observar el coagulante, su eficiencia de remoción de turbidez y color, la dosis óptima utilizada en la prueba de jarras y el método de extracción del componente coagulante del extracto identificado.

Tabla 4. Resultados de remoción de turbidez con los diferentes coagulantes

COAGULANTE	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)		DOSIS ÓPTIMA (mg/L)	MÉTODO DE EXTRACCIÓN
	Turbidez	Color		
Coagulantes de origen vegetal				
<i>Opuntia ficus-indica</i> (Olivero <i>et al</i> ,2013)	93,3%	-----	40	Trituración y tamizado de los cladodios, Extracción sólido-líquido con etanol e isopropanol, secar al vacío.
<i>Opuntia ficus-indica</i> (Villabona <i>et al</i> , 2013)	72,0%	54,0%	90	Secado, Molienda, Tamizado, extracción de clorofila y eliminación de solvente
Moringa oleífera (Cabrera <i>et al</i> , 2017)	99,3%	-----		-----
Moringa oleífera (Salazar <i>et al</i> , 2015)	99,9%	99,9%	4 ml	Solución salina y extracción de aceite
Moringa oleífera (Gómez & Salazar, 2016)	97,0%	-----	250	Semillas pulverizadas con cascara mas solución salina (agua destilada +NaCl) y decantación
<i>Ipomoea incarnata</i> (Cabrera <i>et al</i> , 2017)	99,2%	-----	50	Secado (105 °C), triturado y extracción con n-hexano en extractor tipo Soxhlet
<i>Cassia fistula</i> (Guzmán <i>et al</i> , 2015)	95,0%	87,3%	20	Secado, molienda (molino mecánico helicoidal), y dilución en agua destilada
Almidones utilizados como coagulantes				
Plátano (coadyuvante) (Trujillo <i>et al</i> ,2014)	98,9%	-----	-----	Cortado, cocinado, licuado, tamizado y secado en horno
Maíz (Rodríguez <i>et al</i> , 2007)	99,0%	60,0%	20	-----
Coagulantes de origen animal				
Quitosano (Rodríguez Y. <i>et al</i> , 2015)	96,0%	-----	20	Quitosano comercial disuelto en ácido acético

Fuente: Autor

Se identificó el método de extracción del componente coagulante de cada extracto analizado, ya que de cada uno de los métodos utilizados se pueden obtener diferentes remociones. Como lo comprobó Gómez & Salazar, 2016 en su estudio de los métodos de extracción de *M. oleífera*, encontrando que el método que presentaba mejores remociones de turbidez es la utilización de solución salina.

El método de extracción se puede correlacionar con el costo de aplicación del coagulante natural, ya que es la etapa más importante y la que requiere más insumos para su desarrollo, por lo tanto se evidencia que los métodos utilizados para la extracción del componente coagulante de los coagulantes naturales identificados en esta revisión requieren de ciertos equipos como: hornos, molinos y material de laboratorio, además de algunos compuestos químicos u orgánicos. Los equipos y compuestos anteriormente mencionados pueden incrementar los costos de producción de los coagulantes naturales, pero si se producen a nivel industrial pueden ser más económicos que los coagulantes convencionales, sin mencionar los beneficios para la salud y el ambiente que poseen los coagulantes naturales.

Beneficios Coagulantes naturales

Una de las ventajas identificadas por Dearmas & Ramírez, (2015) es que con el uso de coagulantes naturales los flóculos se forman en la mezcla rápida, aumentando el volumen de agua tratada y se obtienen flóculos más consistentes, por lo tanto gradientes altos de velocidad de floculación.

Los coagulantes naturales se obtienen a partir de los subproductos de alimentos consumidos por la población, como cascaras de frutas, tallos, semillas y hojas de plantas, reduciendo la generación de residuos orgánicos. “El elemento que se extrae de los subproductos es comúnmente llamado mucilago” (Gallardo, Pazmiño, & Enriquez, 2013).

Los lodos generados por el uso de coagulantes naturales son biodegradables, no son tóxicos y se generan en menor volumen en comparación con los coagulantes convencionales, facilitando su disposición final, sin dejar de lado la reducción de costos por la recolección y disposición final de lodos.

Los coagulantes naturales no tienen efecto significativo en la disminución del pH del agua tratada, evitando costos para la neutralización del pH, ya que el uso de coagulantes químicos generalmente viene acompañado con la disminución del pH y la posterior neutralización de este.

Los coagulantes naturales son eficientes como coadyuvantes de coagulación, reduciendo la dosis de coagulantes inorgánicos.

Se debe tener en cuenta que las especies vegetales deben someterse a extracción de sus componentes orgánicos no coagulantes, ya que si se aplica el producto completo (hojas, semillas, etc.) puede aumentarse la concentración de DQO (Jiménez, Vargas , & Quíros, 2012).

Conclusiones

Se identificaron los coagulantes naturales más usados en Colombia y se clasificaron dependiendo de donde proviene su extracto, es decir de agentes vegetales, animales o almidones, encontrando 7 tipos de coagulantes naturales provenientes de artículos que cumplen con los requisitos establecidos en la metodología.

El coagulante natural que mostró mejor eficiencia fue *Moringa Oleífera* con porcentajes de > 90% de remoción de turbidez y color, pero en cuanto a su adaptación a la industria, tiende a aumentar sus costos de producción debido a que es necesario extraer su contenido de grasa (aprox. 40%) aplicando éter de petróleo y alcohol isopropílico.

Los coagulantes naturales identificados en esta revisión alcanzan porcentajes de remoción de turbidez y color semejantes a los de los coagulantes inorgánicos, sin embargo los beneficios para la salud humana y el ambiente, hacen de estos una alternativa viable para el tratamiento de aguas potables en zonas rurales y urbanas.

Es necesario la formulación de proyectos de investigación que sigan contribuyendo a la búsqueda de alternativas ambiental y socialmente viables. Se proponen estudios más específicos donde se utilicen los coagulantes naturales en plantas de tratamiento en operación, ya que la totalidad de los artículos reportados en este trabajo fueron realizados en laboratorios por medio de la prueba de jarras.

Los agentes utilizados como coagulantes naturales deben someterse a la extracción de sus componentes con propiedades coagulantes, ya que si se aplica el agente completo puede aumentarse el contenido de materia orgánica en el agua tratada.

Bibliografía

- Cabrera Martínez , N. C., Hernández Julio, A. R., Simancas Vásquez , E., Ayala Jiménez , J. M., & Almanza Caraballo, K. (2017). Coagulantes naturales extraídos de Ipomoea incarnata en el tratamiento de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Scientia et Technica Año XXII, Vol. 22, No. 1*.
- Cárdenas , Y. A., & SEDAPAL. (Abril de 2000). TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN . Lima, Perú.
- Cogollo Flórez, J. M. (2011). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *DYNA, Volumen 78, Número 165*, 18-27.
- Dearmas, D., & Ramírez, L. F. (2015). Remoción de nutrientes mediante coagulantes naturales y químicos en planta de tratamiento de aguas residuales, Valledupar Colombia . *Revista de investigación Agraria y Ambiental Vol. 6, No. 2*.
- Fernández Acuña, S. I. (2015). Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile. Santiago de Chile .
- Gallardo, C., Pazmiño, D., & Enriquez, I. (2013). Extracción y cracterización reológica del mucílago de Malvaviscus penduliflorus (San Joaquin) . *Revista Cubana de Plantas medicinales Vol. 18, No. 4*.
- García, B. (13 de Diciembre de 2007). METODOLOGÍA DE EXTRACCIÓN IN SITU DE COAGULANTES NATURALES PARA LA CLARIFICACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL. Aplicación en países en vías de desarrollo . Valencia, España.
- Gómez, F., & Salazar , L. (2016). Evaluación de la eficiencia de semillas de (Moringa Oleífera alm.) como coagulante natural en la ciudad de Pasto- Colombia. *Vitae 23 (supl. 1)*.
- Guzmán, L., Taron, A., & Núñez , A. (2015). Polvo de la semilla Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda . *Bioteχνología en el sector Agropecuario y Agroindustrial Vol. 13, No. 2*, 123-129.
- Jiménez, J., Vargas , M., & Quíros, N. (2012). Evaluación de la tuna (Opuntia cochenillifera) para la remoción del color en agua potable . *Tecnología en Marcha Vol. 25, N° 4*.
- Kiely, G. (1999). *INGENIERIA AMBIENTAL Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Mc Graw Hill.
- Lozano Rivas, W. A., & Lozano Bravo , G. (2015). *POTABILIZACIÓN DEL AGUA Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá : Universidad Piloto de Colombia.
- Mendoza, I., Fernández , N., Ettiene, G., & Díaz , A. (2000). Uso de la moringa oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas . *Ciencia 8(2)*, 235-242.
- Mera, C. F., Gutiérrez, M. L., Montes, C., & Paz , J. P. (2016). Efecto de la moringa oleifera en el tratamiento de aguas residuales e el Cauca, Colombia. *Bioteχνología en el sector Ageipeuario y Agroindustrial Vol. 14, No. 2*, 100-109.

- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gozabón, L. E. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia Ficus-indica*. *Producción + limpia Vol. 8, No. 1*, 19-27.
- Rodriguez, J., Lugo, I., Rojas, A., & Malaver, C. (2007). Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral científico, No. 11*, 8-16.
- Rodríguez, Y. J., De la Cruz, G. A., López, W. E., Ricaurte, L., & Morales, M. L. (2015). Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo. *INGENIARE, Año 11, No. 19*, 25-32.
- Salazar Gámez, L. L., Luna del Risco, M., & Salazar Cano, R. E. (2015). Comparative study between M. oleifera and aluminum sulfate for water treatment: case study Colombia. *Environ Monit Assess*.
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Rev. ion Vol. 27, No. 1*.
- Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I. C., & Martínez García, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología Vol. XV No. 1*, 137-144.