

AGENTES NATURALES COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

Fecha de recepción: 26 de abril de 2015 • Fecha de evaluación: 10 de junio de 2015 • Fecha de aceptación: 21 de julio de 2015

AGENTS AS NATURAL ALTERNATIVE FOR WATER TREATMENT

Hildebrando Ramírez Arcila¹ • Jhoan Jaramillo Peralta^{2,3}

RESUMEN

La falta de agua potable en países en vía de desarrollo representa un problema cada día más grande a nivel mundial, por lo que es necesario buscar nuevas y eficientes alternativas que brinden la posibilidad de mejorar la calidad del agua para el consumo humano que sea de fácil acceso y consecución para las poblaciones marginales. Los procesos de coagulación y floculación permiten la remoción de partículas suspendidas y coloidales (turbidez). La materia prima propuesta para el tratamiento del agua se extrae de la naturaleza sin ningún proceso invasivo; de esta manera se rompe el paradigma de la exclusividad de los productos químicos industriales tales como el sulfato de aluminio y el sulfato férrico para tratar el agua y se abre la posibilidad a nuevas tecnologías a bajo costo, inocuas para la salud humana y respetuosa con el medio ambiente. Esta revisión sirve como base para conocer los agentes naturales y sus principales aplicaciones en el tratamiento del agua. Como resultado se obtiene que los dos agentes naturales más estudiados y utilizados a nivel mundial y que presentan gran capacidad en los procesos de coagulación del agua son la *Moringa oleífera* y diferentes tipos de cactus; siendo una alternativa ambientalmente sostenible para poblaciones que no puedan acceder al agua debido a su situación socioeconómica. Además algunos de los agentes presentados en esta revisión pueden emplearse para el proceso de desinfección debido a su actividad antimicrobiana, estando estos agentes en etapa previa de estudios con el fin de poder reducir el uso de los halógenos (cloro, bromo yodo, flúor) en el proceso de desinfección.

Palabras clave: Coagulación, medio ambiente, tratamiento de agua, turbidez.

1 M.Sc. Ciencias de la Educación Docente-investigador, líder del grupo de investigación AQUA. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia
Correo electrónico: hildebrando.ramirez@campusucc.edu.co

2 Investigador auxiliar grupo de investigación AQUA Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Cooperativa de Colombia, Ibagué, Colombia

3 Autor Corresponsal: jhoan.jaramillo2208@gmail.com

ABSTRACT

The lack drinking water in developing countries represents a problem each day bigger a worldwide level, by, it is necessary to search for new and efficient alternatives that provide the possibility of improving the quality of water for human consumption that is easy to access and achievement for marginal populations. The coagulation and flocculation processes allows the removal of suspended and colloidal particles (turbidity). The raw material proposed for the water treatment is extracted from nature without any invasive process; of this manner is broken the paradigm of the exclusivity from the industrial chemicals such as aluminum sulfate and ferric sulfate for the water treatment and is opened the possibility of new technologies at low cost and safe for the human health and respectful with the environment. This review serves as a base for exploring the natural agents and their main applications in water treatment. As a result is obtained that two natural agents more studied and used around the world and presenting great ability in the process of coagulation of water are the *Moringa oleifera* and different types of cactus. Being an environmentally sustainable alternative for people who can not access to water because of their socio-economic situation. In addition some agents presented in this review can be used for the disinfection process due to its antimicrobial activity, being these agents in previous studies in order to power stage to reduce the use of halogens (chlorine, bromó iodine, fluorine) in the disinfection process.

Keywords: Coagulation, environment, water treatment, turbidity.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es una preocupación creciente en todas partes del mundo en vía de desarrollo. Las fuentes de agua potable están bajo la amenaza creciente de la contaminación, con consecuencias de gran alcance para la salud de niños y para el desarrollo económico y social de comunidades y naciones. (UNICEF, 2014).

En este siglo, la falta de agua segura para el consumo humano, de saneamiento y de higiene es uno de los principales y más urgentes problemas relacionados con la salud. Prácticamente la décima parte de la carga global de enfermedades podría prevenirse mejorando el abastecimiento de agua, el saneamiento, la higiene y la gestión de los recursos hídricos. Asegurar el acceso a las poblaciones pobres a agua segura para beber, a un saneamiento

adecuado y favorecer la higiene personal, doméstica y comunitaria mejorará la calidad de vida de millones de personas. Optimizar la gestión de los recursos hídricos para reducir la carga de enfermedades transmitidas por vectores (como las complicaciones víricas transmitidas por los mosquitos) y asegurar la salubridad de las aguas para uso recreativo y otros, podría salvar muchas vidas y tiene unos beneficios directos e indirectos muy importantes que van desde la perspectiva micro-económica de las familias a la perspectiva macro-económica de las economías nacionales (OMS, 2012).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), se logró reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso al agua potable

antes de 2015; sin embargo por lo menos el 11% de la población mundial no tiene acceso aún al agua potable (OMS, 2012).

Los recursos hídricos del planeta están sometidos a contaminación física, química y/o biológica. El avance de la actividad humana (industria, agricultura, ganadería, entre otras), el crecimiento demográfico, el desarrollo de las ciudades y la falta de medidas y programas para dar respuesta a dichos cambios, genera un ambiente que favorece al avance de la contaminación. Debido a esto las medidas que se deben tomar para descontaminar los efluentes debe ser cada vez más urgente, siendo necesario la búsqueda de nuevas alternativas basadas en investigaciones sobre diferentes sistemas de tratamiento de aguas que faciliten una mejor calidad y una protección adecuada de los recursos hídricos (Sánchez *et al*, 2011).

La contaminación de las aguas es una de las causas de millones de muertes infantiles cada año en el mundo en desarrollo, por lo que es necesario potabilizar el agua con tratamientos elementales como la clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y organoléptico. La clarificación es una etapa importante en la potabilización del agua cruda que incluye el proceso de coagulación-floculación en el cual las partículas presentes en el agua se aglomeran formando pequeños gránulos con un peso específico mayor; de esta forma las partículas sedimentan y ocurre la remoción de los materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance las características físicas y organolépticas idóneas para el consumo humano según las normas y estándares de salud pública (Rodríguez *et al*, 2002).

Como alternativa, los países en vías de desarrollo, han adaptado una serie de tecnologías tradicionales para eliminar la turbidez del agua en el ámbito doméstico. De ellas la más estudiada es la utilización de extractos naturales de plantas para la clarificación del agua cruda (Dorea, 2006).

MARCO DE REFERENCIA

En los sistemas de agua, varios tipos de partículas orgánicas que ocurren naturalmente adoptan una carga negativa y la presencia de carga superficial en una partícula influyen ampliamente en su estabilidad relativa. La ciencia detrás de la estabilidad coloidal y la eficacia de los procesos de coagulación y floculación, dependen ampliamente de las propiedades de hidratación y los estados de carga superficial de un coloide.

Tabla 1. Contaminantes del agua

Clase	Ejemplos
Sólidos suspendidos	Materiales coloidales, polvo, óxidos de metales insolubles, e hidróxidos
Orgánicos disueltos	Químicos orgánicos sintéticos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos
Iónicos disueltos (sales)	Metales pesados, sílice, arsénico, nitrato, cloruros, carbonatos
Micro-organismos	Bacterias, virus, quistes protozoarios, hongos, algas, células de levadura
Gases	Sulfuro de hidrógeno, metano, radón, bióxido de carbono

Fuente: Tomado de (Cartwright, 2009).

Parámetros de coagulación y floculación

Yin *et al.* (2009) menciona que los floculantes son los materiales que son utilizados en las rápidas separaciones sólido-líquido por un proceso de agregación de partículas coloidales, el proceso es denominado floculación. 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 poliácridamida.

Varios factores que influyen en la estabilidad coloidal fueron delineados por unión polimérica, estabilización estérica, fenómenos de hidratación, y efectos temporales. En términos de estabilidad termodinámica, la coagulación depende de varios factores, tales como el pH, temperatura, velocidad de corte y concentraciones relativas de coagulante, ayuda de coagulante, y floculante (Norde, 2009).

COAGULANTES UTILIZADOS A NIVEL MUNDIAL

El proceso de coagulación reduce la carga negativa, contribuyendo a la agregación de partículas para formar microfloculos. La floculación consiste en la agregación de partículas para formar floculos más grandes. La sedimentación comprende la precipitación de sólidos, incluyendo los sólidos debidos a la contaminación y los sólidos generados por los químicos. La floculación depende de la temperatura y el pH del agua. El proceso de CF involucra los siguientes pasos:

1. Mezclado rápido. También llamado mezclado flash, en el cual las ayudas de coagulación y floculación y las sustancias de ajuste de pH son

añadidos a la muestra de agua, y se efectúa mezclado rápido. El objetivo es dispersar los químicos en el agua, reducir las fuerzas repulsivas entre las partículas, es decir permitir la coagulación.

2. Mezclado lento. El mezclado se efectúa a velocidad moderada. El objetivo es mantener los componentes de agua mezclados y promover la formación de floculos largos, es decir floculación.

3. Sedimentación. El mezclado es suspendido, para promover la precipitación del floc (Ebeling *et al.* 2005). Existen dos clases de materiales usados en el proceso de coagulación-floculación:

1. Coagulantes inorgánicos y orgánicos que incluyen aditivos minerales como sales de calcio; sales metálicas como cloruro férrico o sulfato de aluminio; metales pre-hidrolizados como policloruro de aluminio y polielectrolitos o coagulantes per se.
2. Floculantes orgánicos que incluyen polielectrolitos catiónicos y aniónicos, polímeros no iónicos, polímeros anfotéricos e hidrofóbicamente modificados y floculantes naturales como *almidón, goma guar, taninos, alginatos* entre otros (Portilla, 2013).

Tabla 2. Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación

Tipo de Agua	Tipo de Coagulación	Requerimiento
1. Baja concentración de coloides, baja alcalinidad	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de alcalinidad o partículas o ambas
2. Baja concentración de coloides, alta alcalinidad	Formación de precipitado. Floc de barrido	Alta dosis de coagulantes. Adición de partículas
3. Alta concentración de coloides, baja alcalinidad	Adsorción de polímeros metálicos positivos, en la superficie de los coloides. (pH4 a 7)	Dosis de coagulantes incrementa con concentración de partículas, adición de alcalinidad
4. Alta concentración de coloides, alta alcalinidad.	Adsorción de polímeros metálicos positivos y precipitaciones de hidróxidos (pH>7)	Dosis de coagulante incrementa con concentración de partículas

Fuente: Tomado de (Cartwright, 2009)

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son: a) Sulfato de Aluminio. b) Aluminato de Sodio. c) Cloruro de Aluminio. d) Cloruro Férrico. e) Sulfato Férrico. f) Sulfato Ferroso. g) Polielectrolitos (Como ayudantes de floculación). Siendo los más utilizados las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados. (Renault et al. 2009).

Los polímeros orgánicos de origen natural se han utilizado por más de 4000 años en India, en África y en China como coagulantes eficientes y como ayudantes de coagulación de aguas con alta turbidez, para uso doméstico en áreas rurales (Asrafuzzaman et al, 2011).

Como alternativa a estos agentes químicos, al inicio de los años setenta en varios países latinoamericanos se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales o animales locales para disminuir en parte o en su totalidad el consumo de coagulantes sintéticos. Esta iniciativa no tuvo un auge significativo debido a la producción y comercialización de polímeros sintéticos con mayor efectividad. No obstante, son muy diversas las fuentes naturales estudiadas en todo el mundo, con la intención ser utilizadas como coagulantes, para la clarificación del agua (Rodríguez et al, 2007).

Agentes naturales empleados en la coagulación

El creciente desarrollo y uso de coagulantes naturales, extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales; son biodegradables y seguros para la salud humana, producen menos volumen de lodos, generando cantidades que van entre el 20-30 %, mucho menores a las generadas por el empleo de agentes coagulantes metálicos, como el alumbre (Sciban et al, 2009).

Los agentes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes y desinfectantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez inicial de esta. Algunos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que reducen o eliminan el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades (García, 2007).

Los agentes coagulantes y floculantes naturales, principalmente polisacáridos, son considerados ambientalmente amigables en comparación con los agentes orgánicos e inorgánicos debido a su biodegradabilidad (Diamadopoulos, 2009).

Son coagulantes alternativos que pueden tener rendimientos iguales o incluso superiores a los de origen sintético, además tienen un valor agregado relacionado con las características de biodegradabilidad que lo convierten en una alternativa viable desde el punto de vista ambiental. Algunos de los coagulantes de origen natural son almidones y polisacáridos naturales, tales como la celulosa, y el quitosano, siendo este último el objeto de estudio de este trabajo (Nieto y Orellana, 2011).

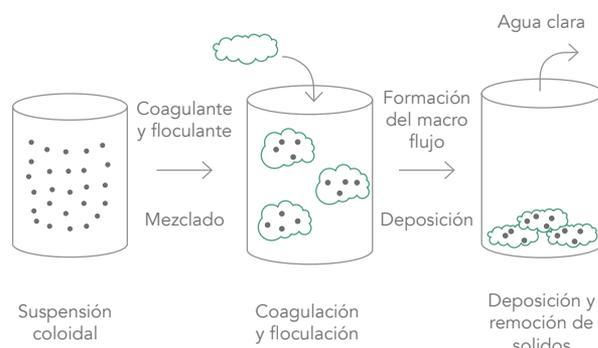


Figura 1. Coagulación y floculación de una suspensión coloidal al agregar un sistema de coagulante- floculante natural luego de su mezcla, con la deposición posterior de la red a flocular. (Fuente: Nieto y Orellana, 2011, adaptación propia).

MATERIALES Y METODOS

El propósito de la presente revisión bibliográfica fue realizar un análisis de la información existente sobre el desempeño de diferentes agentes de origen natural en el proceso de coagulación-floculación, evaluando su eficiencia y los mecanismos empleados en el proceso de remoción de partículas suspendidas y coloidales (turbidez). Lo anterior permitió conocer y realizar una comparación detallada de los materiales y métodos utilizados, con la finalidad de desarrollar un diseño experimental para nuevas aplicaciones de estos agentes. La metodología aplicada fue de tipo exploratoria y comparativa ya que la variedad de agentes del presente estudio son extraídos y aplicados mediante distintos métodos por los autores en el tratamiento del agua, se realizó una investigación fundamentada, actualizada y caracterizada teniendo en cuenta criterios como disponibilidad, tipo de coagulante, turbidez inicial, turbidez final y dosis óptimas, clasificando los principales coagulantes naturales utilizados a nivel mundial.

PRINCIPALES AGENTES VEGETALES ESTUDIADOS

En los últimos años científicos de todo el mundo han intentado hallar, entre la flora y la fauna, especies endémicas capaces de remover con eficiencia las impurezas presentes en el agua destinada para consumo humano. Motivados por esta situación investigadores serbios estudiaron las semillas de bellota europea y varias especies de roble. Para cada prueba se usaron 4 muestras con 300 ml de agua con diferentes turbidez inicial, entre 17.5 y 70 NTU. Con el fin de cuantificar la actividad coagulante de cada extracto preparado, se realizaron varios ensayos de jarras, donde la mezcla rápida se realizó a 300 rpm por 1 minuto, manteniendo velocidad coagulación de 80 rpm por 30 min y la sedimentación duro 1 hora (Martinez y Gonzalez 2012).

La mayoría de los extractos naturales se derivan de semillas, de hojas, de cortezas o savia, de raíces y de frutas, extraídos de árboles y de plantas (Pritchard *et al*, 2009).

Según Ghimici y Nichifor, (2010) los polímeros orgánicos se han empleado en la coagulación /floculación en la últimas cuatro décadas. En comparación con el alumbre ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$), algunas de las ventajas de los polímeros en el tratamiento del agua son los bajos requerimientos en la dosis del coagulante, volumen más pequeño de lodo, reducido aumento en la carga iónica del agua tratada, reducido nivel de aluminio en el agua tratada y economías en el costo de 25–30%.

Existen evidencias que el uso de extractos de especies de plantas y semillas son seguros para la salud humana en el proceso de potabilización de las aguas, debido a que además de poseer propiedades coagulantes también poseen propiedades antimicrobianas (Akinnibosun *et al*, 2008).

Yin *et al*. (2009) plantean que el uso de polielectrolitos naturales como alternativas de bajo costo, para remover las partículas suspendidas en las aguas superficiales y residuales.

Los agentes coagulantes y floculantes naturales, principalmente polisacáridos, son considerados ambientalmente amigables en comparación con los agentes orgánicos e inorgánicos debido a su biodegradabilidad (Diamadopoulos *et al*. 2009).

Los sacáridos más empleados son de dos tipos: los exopolisacáridos como los mucílagos provenientes de *Cactus lefaria*, *Opuntia ficus-indica*, *Plantago psyllium*, *Malva sylvestris* e *Hibiscus esculentus* (Diamadopoulos *et al*, 2009).

Aunque se han reportado muchos coagulantes de origen vegetal, solamente cuatro tipos son bien conocidos entre la comunidad científica, a saber, semillas de Nirmali (*Strychnos potatorum*), *Moringa oleifera*, taninos, y *cactus* (Yin, 2010).

MORINGA OLEIFERA AGENTE VEGETAL EMPLEADO EN LOS PROCESOS DE COAGULACION Y FLOCULACION

Diversos estudios han demostrado que la actividad coagulante de las semillas de *Moringa* es comparable con la obtenida por el uso de sulfato de aluminio (Ridwan *et al*, 2011).

Con la ventaja de que no altera las propiedades del agua tratada, por lo que se recomienda su uso en poblaciones rurales como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la salud para la población consumidora (Olson y Fahey, 2011).

Melo y Turriago, (2012) estudiaron la efectividad coagulante de la *Moringa oleifera* como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales de su región. Para ello, manejaron dosis de 300 mg/L del coagulante para las muestras de agua tomadas del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias, Meta. Con una turbidez de (230 NTU) al realizar las pruebas aplicando la dosis óptima del coagulante, demostraron que esta planta natural es altamente eficiente debido a que presenta una modificación benéfica importante en los sólidos totales pasando de 140 mg/L a 80 mg/L, lo cual equivale al 42,85% de remoción de sólidos totales y la turbidez de (230 NTU a 36 NTU) lo cual equivale al 84,34% de remoción en la turbidez, esto ofrece una posibilidad viable y eficiente para las fuentes hídricas contaminadas en nuestro país.

Sandoval y Laines, (2013) compararon en su investigación la eficiencia de coagulación entre tres tipos de soluciones obtenidas de las semillas de *Moringa Oleifera* y el sulfato de aluminio mediante prueba de jarras. El tratamiento del agua con sulfato de aluminio proporcionó los valores más altos de remoción de turbiedad (95.60%) y color (98.32%), seguida del tratamiento de la solución de *Moringa* en cloruro de sodio. Por otro lado, los tratamientos con

Moringa Oleifera no cambiaron las propiedades químicas del agua tratada. Considerando las soluciones de *Moringa*, la eficiencia de eliminación de turbidez fue mayor cuando se utilizaron soluciones con cloruro de sodio (92.03%) y agua de mar (90.72%) que cuando se usó agua destilada como disolvente (56.02%), debido a que la presencia de iones promueve una mayor separación de proteínas solubles, responsables de la coagulación.

Patel *et al*, (2011) reportaron en su trabajo el uso de semillas de Surjana (*Moringa*), semillas de Maíz, y Chitosan como una alternativa ideal a los recientes métodos de coagulación para la remoción del colorante Rojo Congo. En su estudio exploraron la optimización de varios parámetros del proceso como el pH, dosis de coagulante, tiempos de floculación y temperatura. El máximo porcentaje de remoción del colorante Rojo Congo fue de 89.4% para la semilla de maíz, a pH 4.0, dosis coagulante de 25 mg/L.

Pritchard *et al*, (2009) llevaron a cabo ensayos de laboratorio con los extractos de: *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas* y *Goma de guar*. Los extractos fueron agregados a las muestras de agua obtenidas de cinco pozos poco profundos en Malawi. Los ensayos consistieron en ensayos de jarras para evaluar el potencial de la coagulación y evaluando parámetros físico-químicos y microbiológicos. Los extractos demostraron mejores resultados en las aguas más turbias. Lograron una eficiencia de remoción superior al 90% con niveles de turbidez mayores a (49 NTU). Una reducción en coliformes era alrededor de 80 para todos los extractos.

Morales *et al*, (2009) utilizaron soluciones y suspensiones de semillas maceradas de *Moringa oleifera lam* como coagulante para reducir la absorbancia de las partículas suspendidas en las aguas residuales generadas en un rastro. El tiempo mínimo de reacción fue de 5 minutos con una reducción de absorbancia de 25 % para agua residual de laguna, y respecto a la dosis de coagulante (suspensión de semillas) la más eficiente fue la de 25 g/L.

Ospina y Ramírez (2011) investigaron el coagulante natural extraído de la *Moringa oleifera*, usando para ello, agua turbia cruda del río Combeima, que abastece al acueducto urbano de la ciudad de Ibagué, con valores de turbidez de hasta (1500 NTU). La dosis óptima del coagulante fueron entre 30-95mg/L, obteniendo significativamente valores de turbidez inferior a (10 NTU) establecida en la norma, comprobando así la eficiencia de este agente natural.

Jodi et al, (2012) determinaron la eficiencia de las semillas en polvo de *M. oleifera*, *H. sabdariffa* y *C. tridens* como alternativa al uso de productos químicos sintéticos. Probaron la eficacia de mezcla de cada uno con el alumbre. La dosis óptima y turbidez (NTU) observadas fueron 80ppm y (7 NTU) alumbre, 120ppm y (5 NTU) *M. oleifera*, 130ppm y (110 NTU) *C. tridens*; 130ppm y (80 NTU) *H. sabdariffa* respectivamente. La dosis óptima fueron (60ppm) y turbidez (5 NTU) fueron observados en mezcla de alumbre – *M. oleifera*, mientras que para alum - *C. tridens* y alum- *H. sabdariffa* fueron 80ppm a (5 NTU) y 80ppm a (6 NTU) respectivamente. El resultado obtenido para *M. oleifera* demostró que la planta se puede utilizar para el tratamiento de turbidez en el agua potable. Los resultados obtenidos cuando cada uno de la planta se combinó con el alumbre fueron mucho mejores.

CACTUS ESTUDIADOS EN EL PROCESO DE CLARIFICACION DEL AGUA

El cactus es la más conocida de las plantas suculentas y se caracteriza por la presencia de púas y de tejido pulposo para conservar el agua en los tallos, hojas y raíces cuando tienen que soportar períodos de sequía (Sáenz, 2006).

Pocas especies vegetales tienen la versatilidad de transformación que ofrecen los cactus para el consumo humano. Sin embargo, sus posibilidades industriales son muchas, lo que hace aún más interesante su cultivo y explotación (Sáenz, 2006).

Mendoza et al, (2012) adelantaron un proyecto de investigación comprobar la eficiencia de la *Hylocereus lemairei* como coagulante-floculante en la potabilización de aguas con valores de turbidez entre (30 y 70 NTU). Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio con muestras de aguas provenientes de la planta de tratamiento "Pueblo Viejo", estado Zulia, Venezuela. Emplearon dosis de 218 ppm, 437 ppm, 655 ppm, 873 ppm y 1090 ppm de *Hylocereus lemairei* para valores de turbidez inicial de (30-70 NTU) obteniéndose dosis óptimas de 218 ppm, 437 ppm, 437 ppm, 873 ppm y 1090 ppm, respectivamente. Los resultados obtenidos mostraron porcentajes de remoción para el parámetro turbidez de 94,53 a 98,20%. Para el color se obtuvieron valores que fluctuaron entre 3 y 5 UC.

La tuna (*Opuntia ficus-indica*) pertenece a la familia Cactaceae, siendo las cactáceas especies endémicas del continente americano que se desarrollan principalmente en las regiones áridas y semiáridas. Las Opuntias se han adaptado perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y suelos pobres expuestos a la erosión. Esta especie es una de las más estudiadas debido a su buen rendimiento en el proceso de la coagulación algunos estudios han demostrado su eficiencia.

Villabona et al, (2013) estudiaron la *Opuntia ficus-indica* evaluando la eficacia de dicho coagulante para la eliminación de turbidez y de color en aguas crudas. Los valores de la turbidez inicial fueron de (171 NTU). Luego del tratamiento obtuvieron un máximo de remoción de color del orden del 54%, y una remoción de turbidez de 72% cuando se aplicó coagulante en una dosis de 90 mg/L.

Olivero et al, (2013) demostraron la efectividad coagulante del cactus *Opuntia ficus-indica* y del alumbre, en la potabilización del agua. Para ello, manejan concentraciones de 35 y 40 mg/L del coagulante para las muestras de agua tomadas del río Magdalena en Gambote, departamento de Bolívar, Colombia.

Con una turbidez de (276 NTU), después de aplicar las dosis del coagulante, los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 99,80% y 93,25%, estipulando que la mayor remoción de la turbidez se logró con el alumbre seguido por la *Opuntia*.

Fuentes *et al*, (2011) evaluaron la efectividad de un coagulante extraído del cardón *Stenocereus griseus* en la potabilización del agua. Para ello, prepararon soluciones diluidas con turbiedades entre (20 y 100 NTU). Después de aplicar las dosis del coagulante, los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 14,50 y 80,42%, antes de la simulación de la filtración y entre 69,27 y 96,46%, luego de ello, demostrando la efectividad del coagulante extraído de *Stenocereus griseus* en la potabilización de agua.

Parra *et al*, (2011) estudiaron un coagulante extraído de la tuna *Opuntia wentiana*, en la clarificación del agua. Para ello, recolectaron muestras de agua cruda natural de la planta de tratamiento Pueblo Viejo (Estado Zulia, Venezuela) y a partir de éstas prepararon aguas diluidas con turbiedades iniciales de (100-200 UNT). Se emplearon varias dosis de coagulante (300, 400, 500, 600 y 700 ppm) del coagulante natural. Las dosis óptimas del coagulante fue de (600 y 700 ppm), los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 85,25 y 94,84% antes de la simulación de la filtración y entre 91,82 y 98,34% luego de ello.

Fuentes *et al*, (2012) en su estudio comprobaron la eficiencia de la *Opuntia cochinellifera* como coagulante, simulando coagulación-floculación, sedimentación y filtración en aguas diluidas (20, 40, 60 y 80 NTU) a las que aplicaron la mezcla del coagulante (1000, 2000, 3000, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 8000 ó 10000 ppm). Para las turbiedades 20, 40, 60 y 80 NTU, las dosis óptimas del coagulante fueron 4500, 8000, 8000 y 6000 ppm, respectivamente. La turbidez osciló entre 3,15 y 17,13 NTU, disminuyendo a valores permisibles al filtrar. Se observaron porcentajes de remoción elevados antes de la filtración (78,59-85,88%) y después de ésta (86,10- 93,90%).

Jiménez *et al*, (2012) evaluaron la eficiencia del cactus de la tuna *Opuntia cochinellifera*, para remover el color en agua de río y agua artificial para el consumo humano. Se comparó su desempeño con el coagulante sulfato de aluminio y un floculante catiónico. Se observó una eficiencia de remoción de color del 94% en agua artificial, cuando se aplicó como tratamiento único (45 mg/l), poco superior al tratamiento convencional (20 mg/l $Al_2(SO_4)_3$ y 2 mg/l del floculante catiónico) con una remoción del 89%. Sin embargo, el agua tratada con tuna dejó un valor de DQO residual del doble (21 mg/l) con relación al tratamiento convencional. En el tratamiento de agua artificial, la tuna como floculante mostró una remoción de color del 92% y una DQO residual de 31,5 mg/l aplicada a una dosis de 22,5 mg/l y 7 mg/l de $Al_2(SO_4)_3$.

Por otro lado en Managua–Nicaragua se extrajo y analizó la Tuna (*Opuntia Cochinelífera*), un polielectrolito de origen natural. Realizaron la prueba de jarras, con aguas superficiales con turbidez de (49 NTU), 199 UPC y un pH de 9,14, los resultados mostraron alta eficiencia con los coagulantes metálicos, una eficiencia media con el coagulante natural y una baja eficiencia con el coagulante sintético (Almendárez, 2004)

ALMIDONES COMO AGENTES FLOCULANTES

El almidón es un compuesto que se localiza en raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas. Es un polisacárido sintetizado a partir del dióxido de carbono que toman las plantas de la atmósfera y del agua que toman del suelo, formada por una mezcla de dos sustancias: la amilasa y la amilopectina, las que sólo difieren en su estructura (Méndez, 2010).

Los polímeros naturales tales como almidón, y celulosa han sido investigados como una alternativa atractiva en los procesos de coagulación-floculación para la remoción de partículas suspendidas y coloidales, y una de las ventajas que presentan es que dichos

polímeros naturales y sus derivados son biodegradables; asimismo, su degradación intermedia es inofensiva para el ser humano y el ambiente. Entre los más utilizados se encuentran los polisacáridos extraídos de los almidones de la papa, yuca y maíz (Shogren, 2009).

Solís, (2009) utilizó mezclas basadas en polímeros orgánicos a partir del almidón de plátano y yuca más sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios y aguas superficiales.

Solís *et al*, (2012) compararon mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*) y sulfato de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad de sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua. Mediante prueba de jarras determinaron la dosis óptima del sulfato de aluminio (30 mg/L, tratamiento 1), en la clarificación de una muestra de agua de río (color de 85 CU, turbiedad de 70 NTU y pH de 6.8). Los resultados indicaron que la mayor reducción de color (94 % de eficiencia) se obtuvo con el tratamiento 2 (2 mg/L de yuca más 28 mg/L de sulfato de aluminio).

Shahriari *et al*, (2012) emplearon mezclas de almidón con cloruro férrico ($FeCl_3$) para tratar agua preparada a partir de caolinita con turbiedad inicial de (50 y 100 NTU). Los resultados mostraron que la dosis óptima para la remoción de turbiedad fue de 10 mg/L de $FeCl_3$ más 0.2 mg/L de almidón, equivalente a una proporción 1:0.02. Empleando esta dosis óptima, la combinación de los agentes permitió eficiencias de remoción de turbiedad de 86.5 % y 92.4 % a un pH igual a 7, para turbiedades iniciales de (50 y 100 NTU), respectivamente.

Por otro lado, Vandamme *et al*, (2010) evaluaron el potencial del almidón catiónico como un floculante para la colecta de micro algas realizando los experimentos en las pruebas de jarra. El almidón catiónico fue un eficiente floculante para agua de río (*Parachlorella*, *Scenedesmus*), pero no para micro algas marinas (*phaeodactylum*, *nannochloropsis*).

Según Majzoobi *et al*, (2009) coinciden en que al modificar las propiedades de los almidones, las aplicaciones como agentes floculantes pueden mejorar, ya que se lleva a cabo un cambio en su estructura molecular. La modificación de los almidones puede realizarse por métodos químicos, físicos, enzimáticos, genéticos o sus combinaciones. Entre las diferentes técnicas para la modificación de almidones, los métodos químicos son las técnicas más comúnmente utilizadas. Dicha modificación química involucra la introducción de algunos grupos funcionales entre las moléculas del almidón, resultando cambios bien marcados en las propiedades fisicoquímicas de los almidones. El almidón entrecruzado es un ejemplo de almidón modificado (Majzoobi *et al*, 2009).

APLICACIÓN DE TANINOS COMO COAGULANTES

El término taninos engloba a una multitud de compuestos químicos, la mayoría de los cuales aparecen en la naturaleza asociados a los metabolitos secundarios de las plantas. La presencia de taninos es muy abundante, y se encuentran presentes en la mayoría de las hojas, frutos, cortezas, etc. de un gran número de árboles. En este sentido, la *Acacia mearnsii de wild* se ha constituido desde hace algún tiempo en la primera fuente de taninos. De modo tradicional, los taninos se utilizan en la industria del curtido de pieles, aunque sus múltiples propiedades los hacen interesantes para muchas aplicaciones de la química ligera (farmacia, cosmética, dietética, etc.). Los extractos tanínicos son, por su origen natural, de estructura química compleja. En su mayoría pueden clasificarse en taninos hidrolizables y taninos condensados (Sánchez *et al*, 2011).

Los taninos son definidos como polifenoles presentes en la naturaleza; son solubles en agua y su peso molecular varía de 500 a 3000 Da, en la naturaleza se encuentran ampliamente distribuidos en plantas, frutos, hojas, tallos, corteza, raíces y tronco. Son

considerados metabolitos secundarios de las plantas, debido a que no están involucrados en el proceso del metabolismo primario (Khanbabae y Ree, 2001).

Los agentes de origen vegetal que han sido usados en el proceso de coagulación-floculación algunos de ellos son metabolitos secundarios de plantas, extractos de semillas y sacáridos. Entre los metabolitos secundarios se han utilizado taninos extraídos de arbustos y árboles de los géneros *Acacia*, *schinopsis*, *quercus* y *pinus* (Okuda et al, 2001).

Sánchez et al, (2011) utilizaron los extractos de las cortezas de *Acacia mearnsii* (acacia), *Schinopsis balansae* (quebracho), *Pinus pinaster* (pino) o *Cupressus sempervivens* (ciprés) para producir adsorbentes mediante la polimerización con formaldehído e hidróxido sódico para la adsorción de diversos contaminantes de las aguas, tales como metales pesados, detergentes o colorantes. Los así llamados tanigeles han resultado ser potentes adsorbentes de compuestos catiónicos en disolución y su utilización puede ser una alternativa real a productos ampliamente distribuidos.

Tanfloc es uno de los polímeros catiónicos orgánicos, mas conocido producido a partir del taninóide *Acacia negra*, coagulante de origen vegetal, que cuenta con capacidad para reaccionar y precipitar las proteínas. En el proceso de tratamiento de aguas se utilizan diferentes compuestos, de coagulación siendo ampliamente utilizado el de origen químico como lo es el sulfato de aluminio, que trae como consecuencia la generación de lodos con presencia de metales, que teniendo una eliminación incorrecta de ser perjudicial para el medio ambiente (Zolett y Jabur, 2013).

Zolett y Jabur, (2013) evaluaron el uso de Tanfloc coagulante vegetal para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano. El mejor resultado obtenido por turbiedad final fue 1.18 NTU, resultando después de filtrar en NTU 1.13, con un pH de 8.19, después realizada la prueba mediante la adición de 0,80 ml de coagulante para tratar

1 litro de agua, con turbiedad inicial de 20,5 NTU, mientras que para la misma muestra, haciendo uso de sulfato de aluminio se obtuvo el resultado de 0,35 NTU, resultando después de filtrar en 0.18 NTU, con pH de 8.23, con la cantidad de 0.70 ml de coagulante agregado a 1 litro de agua.

(Sánchez et al, 2011) gelificaron cuatro extractos de taninos de diferentes recursos vegetales con formaldehído y acetaldehído. El formaldehído y otros aldehídos reaccionan con los taninos para inducir la polimerización a través de la unión de puentes de metilo en posiciones reactivas sobre las moléculas tanino flavonoides.

En este sentido, los adsorbentes de origen tánico son una clara alternativa a los carbones activados o las resinas de intercambio iónico, que implican elevados costes energéticos en su producción (Sánchez et al, 2010).

AGENTES DE ORIGEN ANIMAL UTILIZADOS

Por su parte, el quitosán es un producto de la desacetilación de quitina, un biopolímero extraído del exoesqueleto de crustáceos, tales como el camarón y el cangrejo. El quitosán ha sido estudiado extensamente en el tratamiento de aguas residuales industriales y en mucho menor grado en el tratamiento de agua para potabilización (Renault et al, 2009).

Balanta, (2010) realizaron la extracción de quitina a partir del micelio de *Aspergillus niger*. El polímero fue caracterizado mediante espectroscopia de infrarrojo, resonancia magnética nuclear y análisis elemental. El peso molecular promedio viscoso (Mv) es del orden de 105 g/mol, y el grado de desacetilación se determinó para dos muestras por análisis elemental y valoración potenciométrica, obteniéndose valores de 79,78 y 80,68%, respectivamente. El quitosano obtenido se empleó para evaluar la floculación y la coagulación de materia orgánica de muestras de agua del río Meléndez, con buenos resultados como

ayudante de floculación, debido a que la dosis óptima del coagulante primario puede ser reducida hasta en un 50% sin afectar el resultado de la floculación del coagulante primario de manera considerable.

Debido a la gran cantidad de residuos ganaderos que se generan en la Costa Oriental del Lago (Venezuela). Fuentes *et al*, (2014) plantearon un estudio para su aprovechamiento y minimización del impacto ambiental que producen. Su objetivo fue el de comprobar la efectividad de una dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez. Los ensayos se realizaron a escala laboratorio utilizando agua de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, la cual se ajustó con agua del grifo a valores de turbidez entre (50 y 90 UNT). Las muestras de agua diluida se trataron con una dispersión gelatinosa y se caracterizaron fisicoquímicamente. Después de la clarificación se obtuvieron dosis óptimas de 22,8; 34,2; 22,8; y 22,8 ppm para turbiedades de 50, 60, 80 y 90 UNT, respectivamente. La remoción de turbidez osciló entre 71,48% y 81,4% antes de la filtración y entre 93,8% y 98,6% después de ésta. El pH fluctuó entre 6,75 y 7,38 y la remoción de color varió entre 83,3% y 95,0% después del filtrado.

OTROS AGENTES NATURALES

Entre los coagulantes vegetales no maderables usados por la sabiduría tradicional de las poblaciones ribereñas se destacan los tallos, hojas y flores de *Malvaviscus arboreus* (San Joaquín; *Heliocarpus poyayanensis* (Pestaña de mula) que actúa como floculante para la clarificación de la panela e *Hylocereus undatus* (Pitahaya silvestre), (López y Osorio, 2003).

Sciban *et al*, (2009) evaluaron la capacidad de los extractos de semilla de las especies de castaña y bellota como coagulantes naturales en el tratamiento de agua para potabilización. Los componentes activos fueron extraídos de semillas del castaño y bellota de algunas especies de la familia de las *Fagaceae*

tales como: roble común, de Turquía, rojo del Norte y castaña Europea. Los extractos estudiados presentaron capacidad de coagulación y sus cantidades dependieron de los valores de pH y turbidez inicial.

Mejias *et al*, (2010) evaluaron el uso potencial del exudado gomoso producido por *Cedrela odorata*, como agente coagulante en el proceso de potabilización del agua. Prepararon un agua turbia sintética, con valores de turbiedad semejantes a los observados en las aguas crudas naturales (inferiores a 100 UNT) empleando caolina como ingrediente principal. La cantidad de 20 mg/L del exudado gomoso de *C. odorata* se considerada como la dosis óptima debido a que fue suficiente para alcanzar un valor de turbiedad remanente inferior al 20 % y color (5 UCV).

Hernández *et al*, (2013) estudiaron la efectividad de las semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) en aguas con alta turbidez. Utilizaron agua proveniente del grifo como agua de dilución para la preparación de las muestras con valores de turbidez de (100-350 NTU), se emplearon varias dosis de *Tamarindus indica* de 61,83; 74,19; 86,56; 98,93 y 111,3 ppm, resultando como dosis óptima 61,83 ppm (100 y 200 NTU), 86,56 ppm (300 UNT) y 74,19 ppm (350 NTU). Los resultados mostraron la eficiencia del coagulante, obteniéndose porcentajes de remoción para la turbidez después del tratamiento entre 72,45% y 89,09% para las dosis óptimas, antes del filtrar; y entre 98,78% y 99,71%, después del proceso de filtración. El color se ubicó antes de filtrar entre 120 y 266 UCV y después de filtrar entre 30 y 40 UCV.

Mas *et al*, (2012) probaron la eficiencia de las semillas de *Hymenaea courbaril* como coagulante orgánico natural en el proceso de clarificación del agua. La solución madre de concentración fue de 5000 mg/L. El agua turbia sintética (ATS) fue preparada mediante la adición de 5 g de caolina en 1 L de agua corriente. En la pruebas realizadas con rangos de concentración (5 a 140 mg/L) estimando la dosis óptima mediante las pruebas de color y turbiedad.

En el rango de concentración utilizado, se obtuvo como dosis óptima de 5 mg/L para un nivel de turbiedad inicial de (60 NTU), alcanzándose un porcentaje de remoción de turbiedad de 55,0%, mientras que para el color se logró remover 50%.

AGENTES NATURALES ESTUDIADOS Y EMPLEADOS EN COLOMBIA

Ospina y Ramirez, (2011) estudiaron el samán o árbol de lluvia (*Pithecellobium saman*) como coagulante natural. Emplearon agua turbia cruda del río Combeima, que abastece al acueducto urbano de la ciudad de Ibagué, con valores de turbidez de hasta de 1500 NTU. La dosis óptima del coagulante resultó entre 36-105mg/L, obteniendo disminuciones significativas en los valores de turbidez entre (3-5 NTU) prescritas en la norma, demostrando así la eficiencia de este coagulante natural.

Ramírez, (2011) encontraron en aguas de la quebrada La Salada (municipio de Caldas, Colombia) que algunas especies como *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* presentaban efectos floculantes; trabajaron con tipo de material vegetal (seco o fresco) y con concentraciones del floculante orgánico (10, 20, 30, 40, 50 y 60 ml). Encontraron que *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* presentaron poder de floculación (Valor P: 0,017): al aumentar la concentración de floculante aumentó la floculación (Valor P: 0,08), y que el almacenaje no alteró los efectos de las especies sobre el proceso de floculación (Valor P: 0,7813).

Alvarado, (2013) en su investigación en la Universidad Abierta y a Distancia UNAD comparo mezclas de cáscaras de papa y sulfato de aluminio para evaluar qué formulación era la más adecuada como agente coagulante en el tratamiento de aguas potables. La dosis óptima del sulfato de aluminio (8 mg/L, formulación patrón), en la clarificación de una muestra de agua del río Cane y la quebrada

Colorada (color de 41 UPC, turbiedad de 2 NTU y pH de 7,76) y se comparó con las otras formulaciones de cáscaras de papa y sulfato de aluminio. Los resultados indican que la mayor reducción de color se obtuvo con el tratamiento 3 (2,5 g de cáscaras de papa) y lo mismo para el pH 7,46.

Guzman *et al*, (2007) probaron las semillas de Cañafístula (*Cassia fistula*) en la Universidad de Cartagena, una planta nativa de la región y fuente de alimento. El agua fue recolectada en el canal del Dique, los resultados permitieron establecer una dosis óptima de 20 mg/L para un mismo volumen de control, además, este agente coagulante no afectó de manera significativa el pH, la alcalinidad total y dureza total del agua cruda tratada. La remoción de la turbidez fue del 95% y de color del 87,5%, las cuales son comparables por la normativa vigente en ese año.

Lozano, (2012) realizó una investigación mediante el uso del extracto de las hojas de fique (*Furcraea sp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento fisicoquímico de lixiviados parcialmente depurados provenientes del relleno sanitario de Doña Juana en Bogotá D.C. Este proceso consistió en la remoción de sólidos que le proporcionan turbidez y color al lixiviado mediante el uso de sales coagulantes. Aunque el lixiviado evaluado contenía bajas concentraciones de sólidos, se obtuvo un promedio del 15 % en remoción de turbiedad y del 9 % en DQO, empleando combinaciones de 3000 mg/L de cloruro férrico hexahidrato, como coagulante, y 40 mg/L de extracto de hojas de fique, como coadyuvante, a pH de 8.57, respecto del uso del coagulante solo.

Kopytko *et al*, (2014) probaron *Aloe vera* y alumbre en el proceso de tratabilidad de agua en el arroyo de Palmichada (Colombia), donde el *Aloe Vera* mostro buen desempeño en cada ensayo como ayudante en la coagulación debido a la gran versatilidad de su composición. La solución de *Aloe Vera* logró una disminución hasta 20% de

la dosis óptima de sulfato de aluminio en muestras de agua de mediana turbidez y 40% de la dosis óptima de alumbre en muestras de alta turbidez en el arroyo Palmichala, eliminación de turbidez 95 NTU. De la misma manera, cuando se aplica como una ayuda a floculación en conjunción con el alumbre, la mezcla ha provocado una reducción de 20% en la dosis óptima de alumbre y turbidez hasta 96 NTU. En los ensayos se concluyó que para el agua cruda con nivel medio de turbidez 45.5 NTU requirió 56mg/L de alumbre con 5mg/L de mezcla de *Aloe Vera* como ayuda a la coagulación, mientras que en el agua con un alto nivel de turbidez 101NTU se requirió 24mg/L de alumbre con 14mg/L de mezcla de *Aloe Vera* como ayuda a la coagulación.

CONCLUSIONES

El empleo de los agentes naturales para el tratamiento del agua cruda, es una técnica muy antigua, sin embargo, en las últimas décadas su estudio ha profundizado generando nuevas alternativas mediante el uso de agentes origen vegetal o animal.

Todos los extractos, de origen natural, ensayados y reportados por en esta revisión son eficientes en la remoción de turbidez del agua, comparados en algunos casos con el sulfato de férrico o aluminio.

La adición de coagulantes naturales, como ayudas de coagulación, reduce significativamente la dosis de productos químicos.

Los coagulantes naturales funcionan mediante un mecanismo de adsorción seguido por la neutralización de carga.

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.

Las fuentes para la producción de agentes naturales dependen, en gran medida, de la disponibilidad de los recursos.

Diversos estudios han demostrado que la actividad coagulante de las semillas de *Moringa* es comparable con la obtenida por el uso de sulfato de aluminio, Con la ventaja de no alterar las propiedades del agua tratada, por lo que se recomienda su uso en poblaciones rurales como un sustituto eficaz, barato y sin riesgos para la salud para la población consumidora.

Por lo anteriormente expuesto, se hace necesaria la generación de nuevos proyectos de investigación para la búsqueda de alternativas, que incluyan la utilización de coagulantes de origen vegetal, que sean amigables con el medio ambiente e inocuas para la salud humana.

Efectuar estudios más específicos a los reportados en el presente trabajo, para lograr conocer e identificación químicamente los agentes que permiten la coagulación.

Realizar una caracterización por pisos térmicos en Colombia, de los agentes que son efectivos para una posible diversificación.

Identificar el mejor método para la obtención de los agentes naturales proveniente de cada especie y su aplicación en el proceso de clarificación.

REFERENCIAS

1. Akinnibosun H, Ainnibosun F, y German B. 2008. Antibacterial activity of aqueous and Ethanollic leaf extracts of *Pegeromic pellucida* (L) H. B & K (Piperaceae) on three Gramnegative bacteria isolates. *Science World Journal*, 3(4): 33-361.
2. Almendárez N. 2004. Comprobación de la efectividad del coagulante (*Cochifloc*) en aguas del lago de Managua "Piedras Azules". Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería "Campus Simón Bolívar", Managua (Nicaragua), 5(1):46-54.
3. Alvarado L. 2013. "Uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la planta La Diana". Tesis de especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Duitama.
4. Asrafuzzaman M, Fakhuruddin A, y Alamgir M. 2011. Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *Int. Scholarly Res. Network. ISRN Microbiology*. Article ID 632189: p 6.
5. Balanta D, Grande C, y Zuluaga F. 2010. Extracción, identificación y caracterización de quitosano del micelio de *Aspergillus niger* y sus aplicaciones como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas. *Iberoam. Polim*, 11(5): 297-316.
6. Cartwright P. 2009. Tratamiento y Reuso del Agua en Aplicaciones Comerciales /Industriales. *Agua Latioamérica*, 9 (1): 20-24.
7. Diamadopoulos E, Anastasakis K, y Kalderis D. 2009. Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater, *Desalination*, 249: 786-791.
8. Dorea C. 2006. Use of *Moringa* spp.seeds for coagulation: a review of a sustainable option. *Water Science* 6 No. 1, 219-227.
9. Ebeling J, Rishel K, y Sibrell P. 2005. Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacultural Engineering*. 33(4):235-49.
10. Fuentes L, Aguilar Y, Caldera Y, y Mendoza I. 2014. Dispersión gelatinosa de huesos bovinos para la clarificación de aguas con baja turbidez. *Rev. Tecnocientifica URU*. ISSN: 2343 – 6360. 7: 71-81.
11. Fuentes L, Mendoza I, López M, Castro M, y Urdaneta C. 2011. Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. En la potabilización del agua. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 34(1): 48–56.
12. Fuentes L, Mendoza I, Díaz P, Fernandez Y, Zambrano A, y Villegas Z. 2012. Potencial coagulante de la tuna *Opuntia Cochinelifera* (L.) Mill. (Cactaceae) en aguas para consumo humano. *Centro de investigaciones biológicas*. 46(2): 173-187.
13. García B. 2007. "Metodología de extracción in situ de coagulantes naturales para la clarificación de agua superficial. Aplicación en países en vías de desarrollo", Director: Dr. José Miguel Arnal Arnal. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. 1-103.
14. Ghimici L, y Nichifor M. 2010. Novel biodegradable flocculating agents based on cationic amphiphilic polysaccharides. *Bioresour. Technol* 101:8549-8554.
15. Guzmán L, Tarón A, y Núñez A. 2007. Utilización del polvo de semilla de Cañafístula (*cassia fistula*) como agente coagulante natural en el tratamiento de agua potable [tesis]. Cartagena: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería.

16. Hernández B, Mendoza I, Salamanca M, Fuentes L, y Caldera Y. 2013. Semillas de tamarindo (*Tamarindus indica*) como coagulante en aguas con alta turbiedad. 3(1 y 2): 91-96, REDIELUZ ISSN 2244-7334.
17. Jiménez J, Vargas M, Quirós, y N. 2012. Evaluación de la tuna (*Opuntia cochenillifera*) para la remoción del color en agua potable. Tecnología en Marcha, 25 (4): 55-62.
18. Jodi M, Birnin U, Yahaya Y, y Sokoto M. 2012. The use of some plants in water purification. Global Advanced Research Journal of Chemistry and Material Science 4(1): 071-075.
19. Khanbabaee K, y van Ree T. 2001. Tannins: classification and definition. Nat Prod Rep 18:641-649.
20. Kopytko M, Rueda E, y Rincón Y. 2014. Application of Natural Product (*Aloe Vera*) in Coagulation-Flocculation Procedures, for Water Treatability Study. Certified International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 3: 444-456, ISSN: 2319-5967.
21. López J, y Osorio G. 2003. Evaluación y conservación de las especies aglutinantes o floculantes utilizadas en la agroindustria panelera de los municipios situados en jurisdicción de CORANTIOQUIA. En Seminario Nacional y IV Internacional sobre especies promisorias: Biodiversidad y bioprospección Medellín, Colombia.
22. Lozano W. 2012. Uso del extracto de Fique (*furcraea* sp.), como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. Rev. Int. Contam. Ambie. 28 (3), 219-227.
23. Majzoobi M, Radi M, Farahnaky A, Jamaljan J, y Tongdang T. 2009. Physico chemical properties of phosphoryl chloride cross-linked wheat starch, Iranian Polymer Journal, 18(6): 491-499.
24. Manahan S. 2010 Environmental Chemistry, 9th Edition, CRC Press, Chapter.
25. Martínez J, y Gonzalez L. 2012. Evaluación del poder coagulante de la Tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería, 17-91.
26. Mas M, y Martínez R, Carrasquero S, Rincón A, y Vargas L. 2011. Eficiencia de las semillas de *Hymenaea courbaril* como coagulante natural en el proceso de clarificación del agua, 2(2): 123-128, REDIELUZ ISSN 2244-7334.
27. Mejías D, Chávez M, Mas M, Chacín R, y Fernández N. 2010. Uso potencial del exudado gomoso de *Cedrela odorata* como agente coagulante para el tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano. Revista Forestal Venezolana, 54(2): 147-153.
28. Melo G, y Turriago F. 2012. Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de *Moringa oleifera* como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño Cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias. Director: Oscar Javier Olarte. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia Villavicencio, Colombia, 51-60.
29. Méndez A. 2010. Evaluación de la extracción de almidón del Banano verde (*Musa sapientum*, variedad gran enano) Producto de Desecho de las Industrias Bananeras y Evaluación de su función como excipiente en la Formulación de Comprimidos, Proyecto Fodecyt 059-2009 Informe Final. Guatemala.
30. Mendoza I, Fuentes L, Caldera Y, Perdomo F, Suárez A, Mosquera N, y Arismendi H. 2008. Eficiencia de *Hylocereus lemairei* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. Rev. Impacto Científico, 3(1): 281-287.
31. Morales A, Méndez Novelo F, y M. Tamayo D. 2009. Tratamiento de aguas residuales de

- rastro mediante semillas de *Moringa oleifera lam* como coagulante, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(3): 523 – 529.
32. Nieto C, y Orellana V. 2011. Aplicación del quitosano como promotor de floculación para disminuir la carga contaminante. (Trabajo de grado), Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales: Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. 1-132.
 33. Norde, W. 2011 *Colloids and Interfaces in Life Sciences and Bionanotechnology*, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, FL.
 34. Okuda T, Baes A, Nishijima W, Okada M. 2001 Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research* 35 No. 2 405-410.
 35. Olivero R, Mercado I, y Montes L. 2013. Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia*, 8: 19-27.
 36. Olson M, y Fahey J. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82:1071-1082.
 37. Organización Mundial de la Salud (OMS). Agua, saneamiento y salud (ASS). Informe acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento 2012. http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2012/drinking_water_20120306/es/ (Consultado 18 de septiembre de 2014).
 38. Ospina O, y Ramirez H. 2011. Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos" Escuela Colombiana de Ingeniería, 84: 7-17.
 39. Parra Y, Cedeño M, García M, Mendoza I, Gonzalez Y, y Fuentes L. 2011. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae), 1(1): 27-33. *REDIELUZ* ISSN 2244-7334.
 40. Patel H, y Vashi. R. 2011. Removal of congo red dye from its aqueous solution using natural coagulants. *Journal of Saudi Chemical Society*, 16(2): 131-136.
 41. Portilla A. 2013. Análisis Técnico Ambiental del proceso de la Curtiduría Serrano de la ciudad Ambato y diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales. (Trabajo de grado), Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental: Universidad Central de Ecuador, Quito.
 42. Pritchard M, Mkandawire T, Edmondson A, O'Neill J, y Kululanga G. 2009. Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Phys. Chem. Earth*, 34: 799-805.
 43. Ramírez L, Suárez J, y Quirama J. 2011. Evaluación de las propiedades floculantes de *Malvaviscus arboreus*, *Heliocarpus popayanensis* e *Hylocereus undatus* para clarificación de aguas. *RIAA*, 2(2): 33-42.
 44. Renault F, Sancey B, Badot P, y Crini G. 2009. Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45 (5): 1337-1348.
 45. Ridwan M, Wahidatul A, Pang C, y Nasrul H. 2011. Mechanism of Turbidity and Hardness Removal in Hard Water Sources by using *Moringa oleifera*. *Revista de Ciencias Aplicadas*, 11: 2947-2953.
 46. Rodríguez J, Lugo I, Rojas A, y Malaver C. 2007. Evaluación del proceso de la coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico*, 11: 8 – 16.
 47. Rodríguez S, García O, y Muñoz R. 2002. Una solución para la clarificación de aguas para consumo humano. *Noticias Técnica de Laboratorio*, 1: 21-22.

48. Sáenz C. (2006). Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162: Utilización agroindustrial del nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
49. Sánchez J, Beltran J, Carmona C, y Gibello P. 2011. Absorbentes naturales a partir de *tanninos*. Una propuesta de reutilización de residuos forestales para la purificación de aguas. *Cuides*, Universidad de Extremadura, 7: 125-139, ISSN 1889-0660.
50. Sánchez J, Beltrán J, y Gibello P. 2011. Adsorbent biopolymers from tannin extracts for water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 168: 1241-1247.
51. Sánchez J, González M, Beltrán J, Gragera J, y Salguero J. 2010. "Novel tannin-based adsorbent in removing cationic dye (*Methylene Blue*) from aqueous solution. Kinetics and equilibrium studies"; en *Journal of Hazardous Materials*, 174:9-16.
52. Sandoval M, y Laines J. 2013. *Moringa oleífera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales. *Ingeniería, Rev. Académica de la FI-UADY*, 17(2): 93-101, ISSN 1665-529-X.
53. Sciban M, Klasnja M, Antov M, y Skrbic B. 2009. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn, *Bioresource Technology*, 100: 6639 – 6643.
54. Shahriari T, Bidhendi N, y Shariari S. 2012. Evaluating the efficiency of plantago ovata and starch in water turbidity removal. *Int. J. Environ. Res*, 6: 259-264.
55. Shogren R. 2009. Flocculation of kaolin by waxy maize starch phosphates, *Carbohydrate Polymers*, 76: 639–644.
56. Solís R, Laines C, Ramón J, y Hernández J. 2012. Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3): 229-236.
57. Solís R. 2009. Coagulación de aguas superficiales mediante el uso de almidón de yuca (*Manihot esculenta crantz*), mezclado con coagulantes convencionales. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, México.
58. Unicef. Agua, saneamiento e higiene [en línea]. [ref. de 12 de marzo 2014]. Disponible en Web: http://www.unicef.org/spanish/wash/index_43106.html
59. Vandamme D, Foubert I, Meesschaert B, y Muylaert K. 2010. Flocculation of microalgae using cationic starch, *Springer Science*, 22: 525-530.
60. Villabona A, Paz I, y Martínez. 2013. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 15: 137-144.
61. Yin C. 2010. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem*, 45:1437-1444.
62. Yin Y, You L, Lu F, Li D, y Qiao Z. 2009. Preparation and flocculation properties of cationic starch/chitosan crosslinking-copolymer, *Journal of Hazardous Materials*, 172: 38-45.
63. Yin Y, You L, Lu F, Li D, y Qiao Z. 2009. Preparation and flocculation properties of cationic starch/chitosan crosslinking-copolymer. *Journal of Hazardous Materials*, 172: 38-45.
64. Zolett E y Jabur A. 2013. Uso de polímero natural a base de tanino (*TANFLOC*) para o tratamento de água para o consumo humano. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, UT-FPR – Campus Pato Branco, 1-8.