



Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica**

Rafael Enrique Olivero Verbel**, Iván Darío Mercado Martínez***, Luz Elena Montes Gazabón****

Removing turbidity from Magdalena river by the use of *opuntia ficus-indica* cactus mucilage

Remoção da turbidez da água do rio Magdalena usando o mucílago do cacto *Opuntia ficus-indica*

RESUMEN

Introducción. El sulfato de aluminio es uno de los coagulantes químicos más utilizados para la clarificación del agua. Sin embargo, se considera una amenaza para la salud humana. Lo anterior ha motivado el estudio de coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales, como el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*, como alternativa para sustituir o minimizar el uso del sulfato de aluminio. **Objetivo.** Remover la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. **Materiales y métodos.** Se empleó un diseño experimental factorial 2^K aleatorizado; siendo K los factores evaluados: tipo de coagulante (*Opuntia* y alumbre), su velocidad de agitación (100 y 200 rpm) y la concentración del mismo (35 y 40 mg/L). El proceso de clarificación se realizó mediante la prueba de jarras usando muestras de agua tomadas del río Magdalena en Gambote, Departamento de Bolívar, Colombia. Fue empleado un turbidímetro para determinar la turbidez (UNT), un pHmetro para medir el pH y un conductímetro para establecer los valores de conductividad ($\mu\text{S/cm}$) y sólidos disueltos totales (mg/L) presentes en el agua analizada. **Resultados.** El análisis estadístico (ANOVA) mostró que

* Artículo derivado de la investigación: "Determinación de las propiedades del nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación de aguas en dos puntos del río Magdalena (Gambote y Magangué) del Departamento de Bolívar", realizada en la ciudad de Sincelejo durante el segundo semestre del año 2010. ** Ingeniero de Alimentos, magister en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Docente del Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad del Atlántico. Miembro del Grupo de Investigación Agroindustrial-GIA. *** Ingeniero Químico, magister en Ingeniería Ambiental. **** Ingeniera Agroindustrial.

Correspondencia Iván Darío Mercado Martínez, e-mail: ivandario.mercado@gmail.com

Artículo recibido: 25/11/2012, Artículo aprobado: 01/06/2013

el tipo de coagulante influyó en el proceso de clarificación del agua. Sin embargo, su velocidad de agitación y concentración no lo hicieron. La mayor remoción de la turbidez del agua del río Magdalena se logró con alumbre (99,80%); siendo la remoción con *Opuntia* menor (93,25%). **Conclusión.** El mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* remueve la turbidez del agua del río Magdalena.

Palabras clave: turbidez, coagulación, floculación, mucílago *Opuntia ficus-indica*.

ABSTRACT

Introduction. Aluminum sulphate is one of the most common chemical coagulants used to clarify water. It is, nevertheless, considered as a threat for human health. This has motivated the study of natural coagulants obtained from plants, such as the *Opuntia ficus-indica* cactus mucilage, as an alternative to replace or mitigate the use of aluminum sulphate. **Objective.** Removing turbidity from Magdalena river waters, by the use of the *Opuntia ficus-indica* cactus mucilage. **Materials and methods.** A 2^k randomized factorial experimental design was used, in which K are the factors evaluated: kind of coagulant, (*Opuntia* and alum), its agitation speed (100 and 200 rpm) and its concentration (35 and 40 mg/L). The clarification process was performed by the use of the jar test, using samples of water taken from the Magdalena river in Gambota, Bolívar province, Colombia. A turbidimeter was used to determine turbidity (UNT), a pH meter to measure pH and a conductometer to establish the conductivity values ($\mu\text{S}/\text{cm}$) and total of dissolved solids (mg/L) contained in the water analyzed. **Results.** The statistical analysis (ANOVA) demonstrated that the coagulant had an incidence in the water clarification process, but the agitation speed and the concentration did not. The highest degree of turbidity removal was achieved with the use of alum (99,80%); and the removal with *Opuntia* achieved the lowest one (93,25%). **Conclusion.** The *Opuntia ficus-indica* cactus mucilage removes turbidity from Magdalena river's water.

Key words: Turbidity, coagulation, flocculation, *Opuntia ficus-indica* mucilage.

RESUMO

Introdução. O sulfato de alumínio é um dos coagulantes químicos mais utilizados para a clarificação da água. No entanto, considera-se uma ameaça para a saúde humana. O anterior motivou o estudo de coagulantes naturais obtidos de espécies vegetais, como o mucilagem do cacto *Opuntia ficus-indica*, como alternativa para substituir ou minimizar o uso do sulfato de alumínio. **Objetivo.** Remover a turbidez da água do rio Magdalena usando o mucilagem do cacto *Opuntia ficus-indica*. **Materiais e métodos.** Empregou-se um desenho experimental fatorial 2K aleatorizado; sendo K os fatores avaliados: tipo de coagulante (*Opuntia* e alúmie), sua velocidade de agitação (100 e 200 rpm) e a concentração do mesmo (35 e 40 mg/L). O processo de clarificação se realizou mediante a prova de jarras usando mostras de água tomadas do rio Magdalena em Gambote, Departamento de Bolívar, Colômbia. Foi empregado um turbidímetro para determinar a turbidez (UNT), um pHmetro para medir o PH e um condutímetro para estabelecer os valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos dissolvidos totais (mg/L) presentes na água analisada. **Resultados.** A análise estatística (ANOVA) mostrou que o tipo de coagulante influiu no processo de clarificação da água. No entanto, sua velocidade de agitação e concentração não o fizeram. A maior remoção da turbidez da água do rio Magdalena se conseguiu com alúmie (99,80%); sendo a remoção com *Opuntia* menor (93,25%). **Conclusão.** O mucilagem do cacto *Opuntia ficus-indica* remove a turbidez da água do rio Magdalena.

Palavras importante: turbidez, coagulação, floculação, mucilagem *Opuntia ficus-indica*.

INTRODUCCIÓN

Las descargas de efluentes de una variedad de actividades de origen antropogénico han tenido como resultado la contaminación de los ríos, lagos y otros cuerpos de agua. El acelerado crecimiento pobla-

cional y la expansión de las zonas urbanas han incrementado los impactos adversos sobre los recursos hídricos (Escobar, Soto-Salazar y Toral, 2006; Gurdíán y Coto, 2011; Mercado, Arango y Ríos, 2010).

El agua cruda proveniente de ríos, lagos y manantiales trae consigo impurezas, gases, polvo y microorganismos, los cuales pueden afectar la salud del ser humano. Por ello debe ser sometida a un proceso de potabilización haciéndola apta para el consumo humano. Este tratamiento contempla las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, lográndose después de las tres primeras etapas la clarificación del agua. En la etapa de coagulación se adicionan generalmente sustancias químicas para causar la coalescencia o agregación del material suspendido no sedimentable del agua, tales como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, y organismos microscópicos; que permite la formación de flóculos que sedimentan fácilmente (Fuentes et al., 2011; Martínez et al., 2003; Parra et al., 2011). Estas partículas coloidales son las causantes de la turbidez del agua que es uno de los indicadores para evaluar el uso de la misma para consumo humano (Pichler, Young y Alcantar, 2012). En Colombia el valor máximo aceptable para este parámetro físico en el agua potable es 2 UNT- Unidades Nefalométricas de Turbiedad (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007).

Las bacterias, virus y parásitos son partículas coloidales que pueden adherirse a otro tipo de materia en suspensión, generando el aumento de la turbidez y el riesgo de enfermedades gastrointestinales (Miller et al., 2008; Pichler et al., 2012). Debido a lo anterior, la remoción de la turbidez es indispensable antes de llevar a cabo la fase de desinfección del proceso de potabilización del agua (Pichler et al., 2012).

El sulfato de aluminio, alumbre, es el coagulante químico más utilizados para la clarificación del agua porque remueve los microorganismos entre un 90 y 99% al ser utilizado en condiciones óptimas (Miller et al., 2008). Sin embargo, puede ser fácilmente asimilado por el hombre, con potenciales consecuencias negativas a largo plazo. Sus efectos se asocian con varias formas de cáncer, Alzheimer y enfermedades óseas (Gurdíán y Coto, 2011). Una concentración de aluminio superior a 0,1 mg/L en agua para consumo humano puede ser un factor de riesgo para la demencia, especialmente para el mal de Alzheimer (Parra et al., 2011). Además, el alumbre genera grandes cantidades de lodos que no pueden ser utilizados como biosólidos porque impactan negativamente los suelos y el agua debido a su ecotoxicidad (Miller et al., 2008; Yin, 2010).

Por lo anterior, surge como alternativa para sustituir o minimizar el uso del sulfato de aluminio, la utilización de coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales de la familia Moringaceae, como *Moringa oleífera*, *Moringa stenopetala*; de la familia Cactaceae, como *Cereus deficiens* conocido como *cactus o cardón lefaria*, *Opuntia cochinellifera*, *Opuntia wentiana* (Parra et al., 2011), *Opuntia ficus-indica* (Pichler et al., 2012), *Stenocereus griseus* (Fuentes et al., 2011) conocido como *cardón dato*, *cardón guajiro* o *yosú*; de la familia Loganiaceae, como *Strychnos potatorum* (Nirmala Rani y Jadhav, 2012); entre otras.

Existen muchas ventajas al utilizar coagulantes naturales para el proceso de clarificación del agua. Estas sustancias son consumibles (Esquivel, 2004; Fuentes et al., 2011), por tal razón su presencia en el efluente no genera un riesgo tóxico para el ser humano. Los lodos generados por los coagulantes de especies vegetales son altamente biodegradables (Gurdíán y Coto, 2011; Yin, 2010). Cuando se utiliza alumbre como coagulante, se produce una mayor cantidad de lodos que al emplear coagulantes naturales (Gurdíán y Coto, 2011; Yin, 2010). Además, los costos de adquisición: importación del sulfato de aluminio son mayores comparados con los costos de elaboración: transporte de los coagulantes fabricados a base de plantas (Gurdíán y Coto, 2011; Yin, 2010).

Las plantas de la familia Cactaceae son originarias de América y la conforman 98 géneros y más de 1500 especies. El género *Opuntia* representa más de 200 especies (Flores et al., 2006) y generalmente se localizan en zonas áridas y semiáridas. Son capaces de almacenar y conservar el agua en sus

tejidos, con lo cual sobreviven a su escasez y a las marcadas variaciones de temperatura propias de estas zonas (Cervantes, 2005; Guevara et al., 1997). Actualmente se encuentran en una gran variedad de condiciones climáticas, en forma silvestre o cultivada, en los continentes Americano, África, Asia, Europa y Oceanía. Se caracterizan por presentar sus tallos llamados cladodios o pencas, formas de raqueta ovoide o alargada (Sáenz et al., 2006). Sus cladodios son ricos en mucílago, conjunto de carbohidratos complejos con gran capacidad de absorber agua y considerados fuente potencial industrial de hidrocoloides; contiene L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galacturónico en proporciones que varían acorde al manejo del cultivo, temperatura y humedad. El contenido de mucílago de los cladodios puede variar entre 3,78 a 8,5% según la especie del género *Opuntia* (Nazareno y Padrón, 2011).

El mucílago de las plantas de la familia Cactaceae se ha empleado como agente coagulante en el proceso de clarificación de agua (Fuentes et al., 2011; Martínez et al., 2003; Miller et al., 2008; Parra et al., 2011; Pichler et al., 2012). Esto motivó a realizar un estudio donde se comparó la remoción de la turbidez del agua del río Magdalena obtenida al utilizar dos coagulantes, sulfato de aluminio y mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. El muestreo de las aguas del río fue realizado en Gambote, Departamento de Bolívar, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras del nopal *Opuntia ficus-indica* a partir de las cuales se extrajo el mucílago con propiedades coagulantes fueron recolectadas de los cladodios de plantas silvestres que crecen en la sabana de Sucre.

Se eliminó la epidermis de las pencas seleccionadas con ayuda de cuchillos, teniendo en cuenta de no dejarla en la pulpa para evitar que los pigmentos lleguen al producto que se desea extraer; se cortaron los cladodios en trozos pequeños y se lavaron con agua clorada. Luego se dejaron secar por 1 hora. Posteriormente fueron trituradas a temperatura ambiente con un molino de cuchillas, y tamizadas para lo cual se utilizó un tamiz malla 50 con el cual buscó que el diámetro de partícula fuera igual o inferior a 1 mm. Al mucílago obtenido se le realizó una extracción sólido-líquido, utilizando diferentes solventes, etanol e isopropanol. Finalmente se secó al vacío (Sáenz et al., 2006).

El agua cruda se recolectó mediante un muestreo simple en el río Magdalena (canal del Dique), en el corregimiento de Gambote, municipio de Arjona del Departamento de Bolívar, Colombia.

Las muestras de agua del río se colocaron en un equipo para la prueba de jarras, modelo FP4, marca VELP. Se utilizaron vasos de precipitado de 1 L que siempre se llenaron con 1 L muestra.

Para llevar a cabo la prueba de jarras se empleó un diseño experimental factorial 2^K aleatorizado; siendo K los factores evaluados en dos niveles: tipo de coagulante (*Opuntia* y alumbre), velocidad de agitación (100 y 200 rpm) y concentración de coagulante (35 y 40 mg/L), que permitió considerar la turbidez (UNT) como variable respuesta.

La velocidad de agitación en la prueba de jarras siempre se mantuvo durante 1 minuto y luego, se dejaron sedimentar los flóculos durante 1 hora. Transcurrido este tiempo, al sobrenadante de cada vaso de precipitado se le realizó la prueba de turbidez (American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation, 2005) empleando un turbidímetro, modelo 2100N, marca HACH.

Además, se utilizó un pHmetro previamente calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4 y 10, modelo 827, marca METROHM, para medir el pH y un conductímetro, modelo sensION7, marca HACH, para establecer los valores de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos disueltos totales (mg/L) presentes en el agua cruda y en las muestras tratadas con los coagulantes *Opuntia* y alumbre.

Se elaboraron réplicas por triplicado de los experimentos, de tal manera que pudieran analizarse estadísticamente.

El diseño experimental factorial 2^k planteado, tiene la estructura $2 \times 2 \times 2$ que permitió investigar el efecto individual y la interacción entre los factores sobre la turbidez del agua de río Magdalena, al elaborar un análisis de varianza (ANOVA) con una confiabilidad del 95% (valor $P < 0,05$) mediante el programa estadístico *Statgraphics Centurium II demo* de la información obtenida.

Para conocer si el modelo planteado es adecuado se diseñó un gráfico de residuos de la variable respuesta turbidez, siendo estos la diferencia entre los datos reales y los predichos por el mismo modelo. Además, se les realizó la prueba de distribución normal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 da a conocer las condiciones iniciales de los valores promedios obtenidos del agua cruda del río Magdalena muestreada en el canal del Dique. La Norma Colombiana para la calidad del agua para consumo humano (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007) muestra que el valor de pH en el agua para este propósito deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0. También presenta el valor máximo aceptable para la conductividad del agua potable que puede ser hasta $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$. El pH y la conductividad obtenidos del análisis del agua cruda del río fueron 7,22 y $151,5 \mu\text{S}/\text{cm}$; respectivamente. Cumpliendo con la normativa vigente. Sin embargo, la legislación aclara que el agua para consumo humano no podrá sobrepasar en términos de turbidez el valor máximo aceptable de 2 UNT. El agua cruda analizada presentó una turbidez de 276 UNT, alejándose del valor límite propuesto por la norma Colombiana. Lo anterior demuestra que el agua cruda del río Magdalena en Gambote no es apta para consumo humano. Por ello debe ser tratada para lograr este fin. Tal como se realiza en la zona donde utiliza alumbre como coagulante en el proceso de potabilización del agua.

Tabla 1. Condiciones iniciales del agua cruda muestreada en el canal del Dique

Turbidez (UNT)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sólidos Disueltos Totales (mg/l)
276	7,22	151,5	72,22

La tabla 2 muestra las condiciones finales de los valores promedios obtenidos del agua río después de haber sido tratada con sulfato de aluminio y mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. En general, se observa que el coagulante químico removió más turbidez del agua que el coagulante natural. El agua del río tratada con una dosis de $35 \text{ mg}/\text{L}$ de alumbre y una velocidad de agitación de 200 rpm, presentó una turbidez de 0,55 UNT siendo el menor valor obtenido bajo las condiciones del diseño experimental planteado. El porcentaje removido de turbidez en el agua analizada fue 99,80% al emplear la sustancia química. El menor valor registrado de la turbidez en el agua del río al utilizar *Opuntia* como coagulante fue 18,63 UNT y se consiguió al utilizar una dosis de $40 \text{ mg}/\text{L}$ de mucílago y una velocidad de agitación de 100 rpm; lográndose remover del agua una turbidez del 93,25%.

También se observa en la tabla 2 que el agua del río tratada con sulfato de aluminio cumple con la norma colombiana para la calidad del agua para consumo humano que acepta 2 UNT como máximo valor de turbidez (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007). Sin embargo, el agua tratada con *Opuntia* no lo hace. Lo anterior no indica que el mucílago del nopal no pueda ser utilizado como coagulante primario en el proceso de potabilización de aguas.

Teniendo en cuenta que este proceso lo componen las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Lográndose en las tres primeras etapas la clarificación del agua (Fuentes et al., 2011; Martínez et al., 2003; Parra et al., 2011). Mediante esta investigación se logró demostrar que el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* puede ser utilizado como un coagulante primario, porque el porcentaje de remoción de turbidez es superior a 70% que es el indicador (Parra et al., 2011).

Además, es importante resaltar que 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 río Magdalena, sin haber simulado la fase de filtración del proceso de potabilización del agua. La filtración ayudará a mejorar la remoción del material suspendido en el agua y posiblemente a cumplir con el valor máximo aceptado de turbidez propuesto por la legislación Colombiana respecto al tema.

Tabla 2. Condiciones del agua del río tratada con sulfato de aluminio y mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*

	Turbidez (UNT)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Sólidos Disueltos Totales (mg/l)
<i>Alumbre</i> 35 mg/L				
100 rpm	1,16	5,99	171,93	82,73
200 rpm	0,55	5,99	164,33	78,23
<i>Alumbre</i> 40 mg/L				
100 rpm	1,33	5,89	171,73	82,17
200 rpm	0,60	5,88	171,87	81,87
<i>Opuntia</i> 35 mg/L				
100 rpm	19,46	6,63	167,43	79,83
200 rpm	21,00	6,82	181,63	76,93
<i>Opuntia</i> 40 mg/L				
100 rpm	18,63	6,90	165,57	79,13
200 rpm	19,76	6,97	159,23	76,13

La remoción de la turbidez del agua del río obtenida en el presente estudio verifica los hallazgos de otros autores:

- Bejerano y Machín mediante una investigación realizada en Cuba y que dieron a conocer en el año 2000, resaltan el uso del mucílago del nopal *Opuntia* como coagulante primario en la clarificación de aguas para consumo humano. Las conclusiones de estos investigadores indican que se puede remover más del 90% de la turbidez y 80% de color del agua. Además, afirman que el coagulante natural del nopal *Opuntia* es muy útil en la remoción de coliformes (Flores et al., 2006).
- En el año 2004, Almendárez De Quezada a través de un estudio elaborado en Nicaragua en el Lago de Managua "Piedras Azules", presentó los resultados sobre la efectividad del mucílago del *Opuntia cochinellifera* como coagulante primario del agua del lago con fines de potabilización. Una de sus conclusiones es que este nopal es capaz de remover 91% de turbidez del agua.

- Parra et al. (2011) investigaron la efectividad del coagulante extraído del nopal *Opuntia wentiana* en la clarificación del agua. Encontraron que los porcentajes de remoción de turbidez en el agua oscilan entre 85,25 y 94,84% antes de simular la fase de filtración del proceso de potabilización del agua. Además lograron remover entre 91,82 y 98,34% de la turbidez del agua después de llevar a cabo los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Este proyecto fue realizado en Venezuela.

También en la tabla 2 se presentan los valores promedios de pH, conductividad y sólidos disueltos totales medidos en el agua del río después de haber sido tratada con sulfato de aluminio y mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. En general, se observa un aumento en la cantidad de sólidos disueltos totales y en la conductividad eléctrica en el agua tratada, respecto a la presente en el agua cruda debido a la disolución de los coagulantes. Sin embargo, la conductividad se mantiene por debajo del valor máximo aceptable para agua potable que puede ser hasta 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007). Los resultados obtenidos de sólidos disueltos totales y conductividad en este estudio, muestran la existencia de una relación directamente proporcional entre los dos parámetros medidos. Cuanto mayor es la cantidad de sólidos disueltos totales, mayor es el valor de la conductividad eléctrica porque los sólidos disueltos totales hacen parte del material que es capaz de conducir la electricidad en el agua. Además se observa en la tabla 2 que el alumbre se disuelve más en el agua del río que el *Opuntia* bajo las mismas condiciones de dosis de coagulante y velocidad de agitación, que se refleja en el aumento de sólidos disueltos totales en el agua después de ser tratada.

Teniendo en cuenta que el pH influye directamente en el proceso de clarificación del agua, porque permite determinar las condiciones óptimas para lograr la formación de flocúlos capaces de precipitar (Gurdián y Coto, 2011). Además, conociendo que el alumbre es efectivo como coagulante cuando el agua a tratar tiene un pH entre 5,5 y 8 (Rodríguez, 2008), y que el mucílago *Opuntia* se comporta como coagulante eficaz para tratar el agua cuando presenta un rango de pH entre 7 y 10 (Yin, 2010). Se observa que los valores de pH dados a conocer mediante la tabla 2 demuestran que se favorece una mejor clarificación del agua del río Magdalena al emplear sulfato de aluminio que al utilizar el coagulante natural.

Finalmente en esta investigación, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa *Statgraphics Centurium II demo* del diseño experimental factorial 2^k planteado. Los resultados muestran un efecto significativo del factor tipo de coagulante, *Opuntia* y alumbre, sobre la turbidez del agua del río Magdalena (valor $P = 0,0000$). Sin embargo, la velocidad de agitación y la concentración del coagulante, en los niveles estudiados, no tienen un efecto significativo sobre la turbidez del agua analizada (valores $P = 0,3242$ y $0,1652$; respectivamente). Las interacciones entre factores no influyen significativamente sobre la variable respuesta turbidez (valores $P > 0,05$). Este análisis estadístico fue llevado a cabo con un nivel de significancia del 5% (valor $P < 0,05$).

El modelo planteado es adecuado porque en el gráfico de residuales de la variable respuesta turbidez vs predichos por el mismo modelo, los datos no muestran ninguna tendencia. Además, se observó en otro gráfico el comportamiento normal de los residuales de la variable respuesta turbidez demostrándose su independencia.

CONCLUSIONES

El mucílago de los cladodios del nopal *Opuntia ficus-indica* que crece en la sabana de Sucre removió la turbidez del agua del río Magdalena, muestreada en el corregimiento de Gambote, municipio de Arjona del Departamento de Bolívar, Colombia.

El tipo de coagulante utilizado en este estudio influyó en el proceso de clarificación del agua. Sin embargo, su velocidad de agitación y concentración no lo hicieron. La mayor remoción de la turbidez del agua del río Magdalena se logró con alumbre (99,80%); siendo la remoción con *Opuntia* menor (93,25%).

El agua del río tratada con sulfato de aluminio cumplió con la norma colombiana para la calidad del agua para consumo humano que acepta 2 UNT como máximo valor de turbidez. Sin embargo, el agua tratada con *Opuntia* no lo hizo. Aún así, se logró demostrar que el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* es útil como coagulante primario porque removió entre 92,39 y 93,25% de la turbidez del agua sin haber simulado la fase de filtración del proceso de potabilización. La filtración ayudará a mejorar la remoción del material suspendido en el agua y posiblemente a cumplir con el valor máximo aceptado de turbidez propuesto por la legislación colombiana respecto al tema.

El alumbre se disolvió más en el agua del río que el *Opuntia* bajo las mismas condiciones de dosis de coagulante y velocidad de agitación, que se reflejó en el aumento de sólidos disueltos totales en el agua después de ser tratada.

El agua cruda analizada presentó una turbidez que sobrepasó el valor límite propuesto por la norma Colombiana para la calidad del agua para consumo humano, demostrándose que el agua cruda del río Magdalena en Gambote no es apta para consumo humano. Por ello debe ser tratada para lograr este fin. Siendo el *Opuntia* una buena opción como coagulante natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alméndarez De Quezada, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (cochifloc) en aguas del Lago de Managua "Piedras Azules". *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 5(1), 46-54.

American Public Health Association - American Water Works Association - Water Environment Federation (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (21ª. ed.). Washington, DC:AWWA.

Cervantes, M. (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. *Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina* (Comp.) (pp. 3388-3407). Sao Paulo: Observatorio Geográfico de América Latina.

Escobar, C., Soto-Salazar, C. and Toral, M. (2006). Optimization of the electrocoagulation process for the removal of copper, lead and cadmium in natural waters and simulated wastewater. *Journal of Environmental Management*, 81 (4), 384-391.

Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2), 215-219.

Flores, A., Acosta, G., Murillo, B., Trejo, R. y Arreola, J. (2006). Evaluación preliminar de la reserva del nopal (*Opuntia* spp) en la región Laguna-Chihuahua. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, (2), 191-196.

Fuentes, L., Mendoza, I., López, A., Castro, M. y Urdaneta, C. (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 34 (1), 48-56.

Gurdián, R. y Coto, J. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 24 (2), 18-26.

- Guevara, J., Martínez, E., Juárez, M. y Berra, A. (1997). Reclamación de áreas degradadas del Piedemonte de Mendoza, Argentina, mediante la plantación de *Opuntia ficus indica* F. *Inermis*. *Multequina*, 6, 1-8.
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E. y Fernández, N. (2003). Eficiencia del *Cactus lefaria* para uso como coagulante en la clarificación de aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 26 (1), 27-33.
- Mercado, I., Arango, A. Ríos, J. (2010). Reactor de electrocoagulación versus reactor fisico-químico. Estudio comparativo para eliminar el níquel de las aguas residuales. *Tecnología del Agua*, (322), 50-52.
- Miller, S., Fugate, E., Craver, V., Smith, J. and Zimmerman, J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* ssp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environmental Science & Technology*, 42 (12), 4274-4279.
- Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución N° 2115. Bogotá: El Ministerio.
- Nazareno, M. y Padrón, C. (2011). Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos. Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2 (1), 202-238.
- Nirmala Rani, C. and Jadhav, M. (2012). Enhancing filtrate quality of turbid water incorporating seeds of *Strychnos potatorum*, pads of *Cactus opuntia* and mucilage extracted from the fruits of *Coccinia indica* as coagulants. *Journal of Environmental Research and Development*, 7 (2), 668-1674.
- Parra, Y., Cedeño, M., García, M., Mendoza, I., González, Y. y Fuentes, L. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia Wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae). *Redieluz*, 1 (1), 27-33.
- Pichler, T., Young, K. and Alcantar, N. (2012). Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. *Water Science and Technology: Water Supply*, 12 (2), 179-186.
- Rodríguez, C. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable. Tesis para optar el título de ingeniero Civil. Universidad de Sucre, Sincelejo.
- Sáenz, C., Berger, H., Corrales, J., Galletti L., García, V., Higuera, I. et al. (2006). Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. Utilización agroindustrial del nopal. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45 (9), 1437-1444.