

# Utilización de Tuna (*opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas

## Using Tuna (*opuntia ficus-indica*) as natural coagulant in the clarification of the crudes waters

Rafael Enrique Olivero Verbel<sup>1</sup>, Yelitza del Rosario Aguas Mendoza<sup>2</sup>, Iván Darío Mercado Martínez<sup>3\*</sup>,  
Diana Paola Casas Camargo<sup>4</sup>, Luz Elena Montes Gazabón<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero de Alimentos, Magíster en Ciencias y Tecnología de Alimentos, Docente del Programa de Ingeniería Agroindustrial, Miembro del Grupo de Investigación Agroindustrial-GLA, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia; [rafaelolivero@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:rafaelolivero@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera Química, Magíster en Gestión y Auditorías Ambientales, Docente del Programa de Ingeniería Agroindustrial, Miembro del Grupo de Investigación Gestión Integral de Procesos, Medio Ambiente y Calidad-GIMAC, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia; [yelitza.aguas@unisucra.edu.co](mailto:yelitza.aguas@unisucra.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Ambiental, Consultor Ambiental, Barranquilla, Colombia, [\\* ivandario.mercado@gmail.com](mailto:ivandario.mercado@gmail.com)

<sup>4,5</sup> Ingeniera Agroindustrial

Fecha de recepción: 12/04/2014 Fecha de aceptación del artículo: 10/06/2014

### Resumen

En la clarificación del agua potable se utilizan productos químicos como el sulfato de aluminio para remover materia coloidal y sustancias orgánicas, mejorando la calidad del agua. Elevadas concentraciones de aluminio residual en el agua potable tienen implicaciones en la salud humana, siendo necesario el desarrollo de coagulantes alternativos, ambientalmente aceptables para reemplazarlos.

En esta investigación se evaluaron las propiedades que tiene la tuna *opuntia ficus-indica* y el alumbre en la clarificación de las aguas del río Magdalena en Magangué, Departamento de Bolívar (Colombia); como coagulante. Finalmente, se demostró la eficiencia que tiene el mucilago extraído de la tuna *opuntia ficus-indica* como coagulante natural. En aguas poco turbias como ésta, la velocidad de agitación tiene incidencia en la acción del clarificante, ya que este logra llegar hasta las partículas más dispersas aumentando la eficiencia del proceso de clarificación.

### Palabras clave

Clarificación, Coagulación, Floculación, Turbidez, Velocidad de agitación.

### Abstract

In the clarification of the potable water chemicals like aluminum sulphate is use to remove colloidal matter and organic substances, improving the quality of the water. High residual aluminum concentrations in the potable water have implications in the human health, being necessary the alternative coagulants development, environmentally acceptable to replace them.

In this investigation the properties that have the cactus *Opuntia ficus-indica* and alum in the water clarification of the Magdalena River in Magangué, Bolivar province (Colombia), as coagulant were evaluated. Finally, the efficiency that has mucilage extracted of the cactus *Opuntia ficus-indica* as natural coagulant was shown. In low-turbidity water

like this, the agitation speed has an impact on the action clearer because this achieves reach the more dispersed particles increasing the efficiency of the clarification process.

## Keywords

Agitation speed, Clarification, Coagulation, Flocculation, Turbidity.

## 1. Introducción

Tuna es el nombre común dado en Perú, Chile, Argentina, Méjico y Colombia a la planta científicamente denominado *Opuntia ficus-indica*, proveniente de la familia *Cactaceae*. En otras partes del mundo también es conocida tunera, nopal, pita, penca, higuera de chumbo, higuera de pala, o chumbera. Esta planta es originaria de Méjico [1].

Existen muchos países en los que se ha despertado últimamente interés por la tuna, debido a sus grandes potencialidades como alimento, tanto humano como animal, y sus posibles modos de industrialización. Además, de su adaptabilidad a las zonas áridas en contraste con los cultivos tradicionales. Entre ellos figuran Brasil, Cuba, Egipto, España, India, Israel, Turquía y Venezuela. El autor F. Basile, menciona además a Argelia, Colombia, Grecia y Jordania como países en los que, aunque en baja proporción, también se cultiva esta especie [2].

Dadas las características morfológicas y fisiológicas que presenta esta planta, puede soportar condiciones ambientales desde escasa precipitación hasta altas y bajas temperaturas. Además, se conoce que esta planta no necesita mayores cuidados en su cultivo [3].

Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alongada alcanzando hasta valores que oscilan en un rango de 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles [2]. También tienen tejidos carnosos. En el centro de las pencas existe una red de tejido celulósico que con el transcurso del tiempo se endurece, dándole a ésta una constitución rígida. La forma y el grosor de las pencas son variables, así

como su color. Este último, cambia de verde claro hasta el gris o ceniza, según la edad de la planta [3].

Tanto los frutos como los cladodios de la tuna son una fuente importante de fibra, hidrocoloides como mucílagos, pigmentos como las *betaláínas* y los *carotenoides*, minerales entre ellos el calcio y el potasio, y vitamina C; esta última buscada entre otros motivos, por sus propiedades antioxidantes [4 y 5].

Durante el año 2007 mediante una investigación se concluyó que el cladodio del nopal de un mes de edad es rico en vitamina C, carbohidratos y proteínas. Mientras que el cladodio de un año de edad presenta mejores contenidos de calcio, sodio, hierro y potasio, así como de fibra. Por tal motivo, las pencas jóvenes de esta planta pueden ser aprovechadas para consumo humano [3].

Existen en la tuna valiosos y atractivos compuestos funcionales que pueden ser extraídos y utilizados para formular y enriquecer nuevos alimentos, para formar parte de la cada vez más cotizada gama de aditivos naturales (gomas y colorantes) tanto para la industria alimentaria como farmacéutica y cosmética, para formular suplementos alimenticios, ricos en fibra o con fines de control de la diabetes o la obesidad, entre otros [2].

En Perú, se llevó a cabo un estudio sobre el uso del mucilago de cladodios de la tuna para estabilizar bloques de adobe, comparándolo con la cal. Los resultados obtenidos no fueron exitosos, probablemente debido a que las dosis empleadas fueron bajas (10%) [6]. Sin embargo, otros investigadores afirman que la adición de mucilago de la tuna a mezclas de cementos refuerza la durabilidad de estos materiales [7]. Estos resultados justifican continuar los estudios respecto a estas propiedades [2].

En otra investigación, se da a conocer información sobre la acción de un extracto de la tuna para mejorar la infiltración del agua en el suelo. Los autores compararon poliacrilamidas (PAM) con un extracto de esta planta, sin diluir y diluido, y concluyeron que su aplicación aumenta la infiltración de agua en la tierra, en una magnitud similar al de las polia-

crilamidas. Sin embargo, en este estudio se ignoró la persistencia de los efectos del extracto, así como el ingrediente activo y el mecanismo de acción [8].

También se ha analizado el uso de los cladodios para evitar la corrosión. En el año 2004, en Marruecos, se informó el éxito de la utilización de un extracto acuoso obtenido de los cladodios de esta planta para evitar la corrosión del hierro [9]. Otros investigadores, también analizaron la adición de mezclas de la tuna en el concreto, como método para aumentar las propiedades anticorrosivas al entrar en contacto con el acero [7]. En otros estudios preliminares, que se dieron a conocer en el año 2005, se determinó que la adición de mucilago de cladodios al concreto evita la corrosión de barras de acero inmersas en el mismo [10].

Pocas especies vegetales tienen la versatilidad de transformación que ofrecen las tunas para el consumo humano. Sin embargo, sus posibilidades industriales son muchas, lo que hace aún más interesante su cultivo y explotación [2].

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 [11].

Existen coagulantes químicos usados tradicionalmente, como son el sulfato de aluminio (alumbre), cloruro de aluminio (policloruro de aluminio), aluminato de sodio, cloruros de hierro, sulfatos de hierro, entre otros. Sin embargo el uso de estos productos químicos genera problemas [12]:

Para el caso del sulfato de aluminio se requiere un muy buen control del pH porque el rango de trabajo en este parámetro es muy limitado. La remoción del material orgánico no es óptima. Además, no se obtienen los resultados esperados al usarlo en aguas de alta turbiedad. En muchas ocasiones requiere de un ayudante de floculación y lo más importante, el uso de este coagulante químico genera un alto contenido de aluminio residual.

Con el policloruro de aluminio se presentan desventajas tales como su alto costo y además que un pH demasiado alto durante la coagulación puede bajar la remoción de sustancias orgánicas.

El cloruro férrico es otro clarificante de agua que tiene como desventaja ser muy corrosivo, lo que dificulta su manejo y almacenamiento. Además, problemas en el proceso de clarificación pueden causar un color y precipitación en el agua tratada. Esto también puede ocurrir cuando se utiliza sulfato férrico.

A inicios de la década de los setenta, en varios países latinoamericanos se adoptó la tecnología de tratamiento de agua potable para países en vía de desarrollo. Estos nuevos procedimientos crearon la necesidad de utilizar coagulantes naturales locales que pudieran disminuir en parte ó en su totalidad el consumo de reactivos químicos importados [13].

Los polímeros orgánicos de origen natural presentan por lo general una mínima o nula toxicidad, dado como lo presentan muchos investigadores acerca de la tuna, esto aumenta las alternativas de tratamiento de aguas basadas en la utilización de coagulantes naturales en los procesos de clarificación, y se hace imprescindible, teniendo en cuenta las condiciones económicas actuales de muchos países [14].

En un estudio efectuado en Cuba se comparó la capacidad clarificante del mucilago de la tuna, con otros agentes tradicionales como el sulfato de aluminio y se llegó a la conclusión que el mucilago de *Opuntia ficus-indica* y de *Opuntia stricta* variedad *Dillenii* tienen una conducta similar al sulfato de aluminio para clarificar el agua [15].

## 2. Metodología

En esta investigación se evaluó la eficiencia de la tuna *Opuntia ficus-indica* como agente coagulante en el proceso de clarificación de las aguas del río Magdalena, tomando como referencia un punto en el municipio de Magangué, perteneciente al Departamento de Bolívar. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio aplicando la prueba de jarras. Los parámetros físico-químicos medidos fueron turbidez y pH.

De los cladodios de la planta silvestre, *Opuntia ficus-indica*, que crece en las sabanas de Sucre, se extrajo su mucílago que actúa como coagulante natural empleando las operaciones de pelado, lavado, escurrido, almacenado, troceado, molienda, tamizado, centrifugado y secado.

El pelado se utilizó para eliminar la corteza y muchas espinas; el lavado se realizó con agua de cloro a una concentración de 50 ppm para terminar de retirar las espinas que quedaban; el escurrido es una forma de secado que se llevó a cabo por 1 hora; el almacenamiento de las pencas peladas se hizo a 5 °C para garantizar su conservación; en el proceso de troceado se cortaron los cladodios a 15 cm de largo aproximadamente; para la molienda se empleó un molino de cuchillas; en el tamizado se utilizó un tamiz de 1 mm que separó la fibra del mucílago; el centrifugado se realizó con la finalidad de separar lo mejor posible el mucílago de las impurezas; y el secado se llevó a cabo al vacío a una temperatura de 70 °C.

Al material seco, de color verdoso, se le realizó la extracción de los pigmentos con alcohol etílico. El material libre de pigmentos fue macerado con agua destilada y separado por filtración. Luego, se evaporó al vacío y se reconcentró en un horno eléctrico, donde se obtuvo finalmente un polvo amorfo claro y soluble en agua.

En la prueba de jarras, el proceso de clarificación se efectuó a diferentes concentraciones de coagulante, 35 mg/L y 40 mg/L, y con distintas velocidades de agitación, 100 y 200 rpm; estableciéndose las mejores condiciones para llevarlo a cabo. Todo se hizo por triplicado.

Para probar la eficiencia de la tuna en la clarificación de aguas crudas que son empleadas por los acueductos para su potabilización, se comparó con un coagulante muy usado como es el alumbre o sulfato de aluminio.

## 3. Resultados y análisis

Las características físico-químicas iniciales de la muestra de agua objeto de estudio se presentan en la Tabla 1.

Los valores promedios obtenidos como resultado de la medición de las características físico-químicas después de realizado el test de jarras se dan a conocer en las Tablas 2 y 3.

Con esta información, se realizó un análisis del efecto que tienen los factores tipo de coagulante (alumbre y mucílago del *Opuntia ficus-indica*), dosis de coagulante (35 mg/L y 40 mg/L) y velocidad de agitación (100 rpm y 200 rpm) sobre la turbidez que actuó como variable dependiente. Los resultados muestran que mientras la velocidad de agitación y el tipo de coagulante si influyen en la clarificación del agua, la dosis de coagulante no lo hace.

**Tabla 1.** Características físico-químicas iniciales del agua.

Parámetro medido	Valores obtenidos
Turbidez (UNT)	174
pH	6.55

**Tabla 2.** Características físico-químicas del agua de Magangué después de la prueba de jarras (100 rpm).

	Turbidez (UNT)	pH
<b>100 rpm</b>		
35 mg/L de alumbre	3.06	5.78
35 mg/L de Opuntia	33.93	6.22
40 mg/L de alumbre	4.9	5.51
40 mg/L de Opuntia	29.66	6.55

**Tabla 3.** Características físico-químicas del agua de Magangué después de la prueba de jarras (200 rpm).

	Turbidez (UNT)	pH
<b>200 rpm</b>		
35 mg/L de alumbre	1.22	5.54
35 mg/L de Opuntia	31.36	6.35
40 mg/L de alumbre	2.95	5.44
40 mg/L de Opuntia	28.43	6.41

Las mejores remociones de turbidez se obtuvieron a una velocidad de agitación de 200 rpm.

Se demostró que el mucilago extraído de la tuna *opuntia ficus-indica* sirve como coagulante natural en el propósito de clarificar aguas crudas del río Magdalena del municipio de Magangué, Departamento de Bolívar, logrando reducir la turbidez hasta en un 83.66%. Sin embargo, el alumbre siempre fue más eficiente (ver Figuras 1-2).

La más alta remoción de la turbidez con este químico fue de 99.30%.

Con este estudio, se reafirma las bondades del mucilago de las plantas *Cactaceae* como agente coagulante en el proceso de clarificación de agua, tal como lo sugieren otros investigadores [16-21].



**Figura 1.** Agua clarificada con *Opuntia ficus-indica*



**Figura 2.** Agua clarificada con alumbre.

## 4. Conclusiones

Mediante esta investigación se demostró la eficiencia que tiene el mucilago extraído de la tuna *opuntia ficus-indica* como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. En aguas poco turbias como las del río Magdalena en Magangué, Departamento de Bolívar (Colombia), la velocidad de agitación tiene incidencia en la acción del coagulante ya que este logra llegar hasta las partículas más dispersas aumentando la eficiencia del proceso de clarificación.

Las mejores remociones de turbidez con ambos coagulantes se obtuvieron a una velocidad de agitación de 200 rpm. Sin embargo, el alumbre siempre fue más eficiente. Los valores obtenidos de este parámetro físico-químico después de llevar a cabo el proceso de clarificación del agua con el coagulante natural, no cumplieron con el requerimiento estipulado en la norma técnica colombiana para agua potable. Sin embargo, el agua tratada puede ser empleada en otras actividades. Se sugiere investigar mucho más sobre el tema.

## Referencias

1. Román, J. (2007). *Determinar los Parámetros Adecuados de Conservación en Lata de Tunas (Opuntia Ficus-indica (L) Millar) Combinando Métodos de Preservación Química y Física, en el Departamento de Moquegua*. Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú.

2. Sáenz, C. et al. (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.
3. Guzmán, D., Chavéz, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia Ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73, 1, 41-45.
4. Sáenz, C. (2004). "Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia spp*". En: *El nopal, tópicos de actualidad*, Universidad Autónoma de Chapingo - México, Esparza, G, Valdez, R., Méndez, S. (eds.), 211-221.
5. Sáenz, C., Sepúlveda, E, Matsuhira, B. (2004). *Opuntia spp Mucilage's: a functional component with industrial perspectives*. *Journal of Arid Environments*, 57, 3, 275-290.
6. Ramsey, J. (1999). *Evaluación del comportamiento del Adobe Estabilizado con Cal y Goma de Tuna*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
7. Torres, A., Martínez, M., Celis, C. (2004). "Cement-based mortar improvement from *nopal* and *aloe vera* additions". En: *4° Foro de investigación UDEM*, Universidad de Monterrey, Nueva León, México.
8. Gardiner, D., Felker, P, Carr, T. (1999). Cactus extract increases water infiltration rates in two soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30, 11-12, 1707-1712.
9. Hammouch, H., et al. (2004). "Inhibition of iron corrosion using *Opuntia* extract". En: *3er Congreso Nacional de la Tuna*, Ben Guerir, Marruecos.
10. Torres, A., et al. (2005). "Nopal and *Aloe vera* additions in concrete: electrochemical behavior of the reinforcing steel g *Opuntia* extract". En: *60th Annual Conference and Exposition Corrosion*, Texas. Houston, U.S.A.
11. Rodríguez, S., García, O., Muñoz, R. (2002). Una solución para la clarificación de aguas para consumo humano. *Noticias Técnica de Laboratorio*, 1, 21-22.
12. Rinne, T. (2001). "Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro". En: XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Superación Sanitaria y Ambiental: el reto, Tegucigalpa, Honduras.
13. Almendárez, 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.
14. Rodríguez, J. et al. (2007). Evaluación del proceso de coagulación para el diseño de una planta potabilizadora. *Umbral Científico*, 11, 8-16.
15. López, E. (2000). *Utilización de Productos Naturales en la Clarificación de Aguas para Consumo Humano*. Universidad de la Habana, La Habana, Cuba.
16. Pichler, T., Young, K., 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.
17. Parra, Y. et al. (2011). Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia Wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae). *Redieluz*, 1, 1, 27-33.
18. Fuentes, L. et al. (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.
19. Martínez, D. et al. (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.
20. Olivero, R., Mercado, I., Montes, L. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Revista Producción + Limpia*, 8, 1, 19-27.
21. Miller, S. et al. (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.