



Revista Arbitrada Venezolana  
del Núcleo Costa Oriental del Lago



**Impacto** *Científico*

Universidad del Zulia

Junio 2019  
Vol. 14 N° 1

ppi 201502ZU4641  
Esta publicación científica en formato digital  
es continuidad de la revista impresa  
Depósito Legal: pp 200602ZU2811 / ISSN:1856-5042  
ISSN Electrónico: 2542-3207

 **Impacto Científico**

**Revista Arbitrada Venezolana  
del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago**

Vol. 14. N°1. Junio 2019. pp. 127-137

## ***Opuntia ficus indica*: un coagulante alternativo para el tratamiento de aguas con alta turbidez y pH ácido**

**\*Yaxcelys Caldera, \*Kendry Laguna, \*Enmanuel Millán,  
\*Yoalis González y \*\*Edixon Gutiérrez**

*\*Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Núcleo Costa Oriental  
del Lago. Universidad del Zulia. Cabimas, estado Zulia, Venezuela.  
yaxcelysc@hotmail.com*

*\*\*Centro de Investigación del Agua. Facultad de Ingeniería.  
Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.*

### **Resumen**

El pH del agua tiene efectos durante el tratamiento de las aguas por coagulación, puesto que afecta el tiempo para la formación de flóculos, la carga sobre las partículas coloidales y las dosis requeridas, existiendo un intervalo óptimo para cada coagulante. El objetivo de esta investigación es evaluar la efectividad del coagulante *Opuntia ficus indica* durante el tratamiento de aguas turbias con pH ácido. Se utilizó agua sintética a valores de turbidez de 100, 150 y 200 UNT y pH de 5 unidades. El coagulante *O. ficus indica* se desecó en una estufa a una temperatura menor a 60 °C y se preparó una mezcla al 10 % m/v, de la cual se evaluaron las dosis de 50, 100, 150, 200 y 250 mg/L. Se determinaron los parámetros pH, color y turbidez antes y después de la clarificación (coagulación, floculación, sedimentación y filtración). Los resultados demostraron que el coagulante *O. ficus indica* desecado es eficiente para remover turbidez (63,13 % - 96,39 %) y color (71,5 % - 93,5 %) de aguas con alta turbidez inicial (100, 150 y 200 UNT) en condiciones de pH ácido (5 unidades). Las dosis óptimas del coagulante fueron 50 y 100 mg/L. Se observó que el pH ácido de las aguas no afectó significativamente la eficiencia del coagulante. *Opuntia ficus indica* representa un coagulante alternativo para tratar aguas turbias con pH ácido.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus indica*, coagulante, pH ácido, aguas turbias, clarificación.

## *Opuntia ficus indica: an alternative coagulant for the treatment of waters with high turbidity and acid pH*

### **Abstract**

The pH of the water has effects during the treatment of the waters by coagulation, since it affects the time for the formation of flocs, the load on colloid particles and the required doses, existing an optimal interval for each coagulant. The objective of this research is to evaluate the efficiency of coagulant *Opuntia ficus indica* during treatment the water turbid with acid pH. Synthetic water with turbidity values of 100, 150 and 200 NTU and pH 5 units, was used. The coagulant *O. ficus indica* was dried in an oven at a temperature lower than 60 °C and a mixture at 10% m/v was prepared, from which the doses of 50, 100, 150, 200 and 250 mg/L were evaluated. The parameters pH, color and turbidity were determined before and after of the clarification (coagulation, flocculation, sedimentation and filtration). The results showed that the coagulant *O. ficus indica* dried is efficient to remove turbidity (63.13 % - 96.39 %) and color (71.5 % - 93.5 %) of waters with high initial turbidity (100, 150 and 200 NTU) under acid pH conditions (5 units). The optimal doses of the coagulants were 50 and 100 mg/L. It was observed that the acid pH of the waters did not significantly affect the efficiency of the coagulant. *Opuntia ficus indica* represents an alternative coagulant to treat turbid waters with acidic pH.

**Keywords:** *Opuntia ficus indica*, coagulant, acid pH, water with high turbidity, clarification.

### **Introducción**

Los coagulantes naturales han mostrado eficiencia para remover turbidez y color de las aguas durante las fases de coagulación y floculación, representando una alternativa a los coagulantes tradicionales como el sulfato de aluminio. Entre estos coagulantes se encuentran los preparados a partir de las especies del género *Opuntia*, tales como: *Opuntia dillenii* (Nougbodé y col., 2013), *Opuntia wentiana* (Parra y col., 2011), *Opuntia cochinellifera* (Fuentes y col., 2012), *Opuntia ssp.* (Miller y col., 2008) y *Opuntia ficus indica* (Fuentes y col., 2014; González y col., 2009).

*Opuntia ficus indica* pertenece a la familia Cactaceae, que se caracterizan por ser especies endémicas del Continente Americano, se desarrollan principalmente en las regiones áridas y semiáridas, con 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 coagulación (Ramírez y Jaramillo, 2015).

Sin embargo, la eficiencia del coagulante obtenido de *Opuntia* puede ser modificada por la variación de condiciones ambientales o de parámetros fisicoquímicos de las aguas, encontrándose el potencial de hidrógeno (pH) como uno de los más importantes. Se ha inferido que la remoción de coloides con carga negativa usualmente se encuentra entre valores de pH óptimo de 5,0 y 6,5 unidades (Romero, 2005). Además, se han demostrado efectos sobre el tiempo requerido para la formación de los flóculos y la carga sobre las partículas coloidales. También se ha señalado que existe una relación entre el pH y la actividad del coagulante, encontrando mayor actividad de coagulación en las aguas con pH básico (Miller y col., 2008).

Varias investigaciones señalan que el coagulante extraído de las especies del género *Opuntia* puede utilizarse a nivel local como coagulante primario en la clarificación de aguas para consumo humano, pudiendo remover más del 90 % de turbidez y 80 % de color del agua, y que también es muy útil en la remoción de coliformes (Lozano, 2011). Entre sus propiedades coagulantes-floculantes se destacan la buena capacidad de formación de flóculos, mayor velocidad de sedimentación con baja producción de lodos y gran capacidad biodegradable, por lo que es una excelente alternativa natural y de bajo costo para el tratamiento de las aguas turbias (Vaca y col., 2014; Fuentes y col., 2014).

Por lo antes expuesto, el objetivo de esta investigación es evaluar la efectividad del coagulante *Opuntia ficus indica* durante el tratamiento de aguas turbias (100, 150 y 200 Unidades Nefelométricas de Turbidez, UNT) con pH ácido.

## **Materiales y métodos**

### **Preparación del agua sintética**

El agua proveniente de la red de abastecimiento del municipio Cabimas del estado Zulia, se acondicionó agregando arcilla comercial hasta obtener los valores deseados de turbidez inicial de 100, 150 y 200 UNT. La mezcla fue preparada adicionando 26 g de arcilla en 100 mL de agua destilada, luego se agitó a 100 rpm durante 5 minutos y se colocó a temperatura ambiente por 24 horas para garantizar la hidratación de las partículas. El pH del agua sintética fue de  $7,5 \pm 0,2$  unidades y se ajustó antes de cada tratamiento agregando ácido acético (0,1 M) para bajar el pH a 5 unidades. Mientras que el color de las aguas a distintas turbiedades iniciales se mantuvo en 200 UC Pt-Co.

### **Obtención del coagulante *O. ficus indica* desecado**

La recolección de la especie *O. ficus indica* se realizó en el sector Las Delicias, municipio Cabimas, estado Zulia. Se seleccionaron cladodios jóvenes en buen estado y se trasladaron al laboratorio para su procesamiento. Se inició retirando las espinas y la epidermis de los cladodios, luego se cortó el tejido parenquimatoso en capas delgadas y se colocaron en cápsulas de Petri. Posteriormente, se llevaron a la estufa durante

24 horas a una temperatura menor a 60 °C. Pasado el tiempo, el tejido deshidratado se trituró en un mortero hasta obtener un polvo, el cual se tamizó y almacenó en el refrigerador en un recipiente hermético a una temperatura aproximada de 7 °C.

El coagulante de *O. ficus indica* (desecado) se preparó agregando agua destilada al polvo hasta obtener una mezcla a una concentración de 10 % m/v. Se dejó en reposo por dos horas para facilitar la hidratación, esto se realizó antes de cada ensayo. Las dosis del coagulante evaluadas fueron 50, 100, 150, 200 y 250 mg/L, las cuales se escogieron a partir de ensayos preliminares.

## **Tratamiento del agua sintética**

El tratamiento de las aguas se inició con coagulación, seguido de floculación y sedimentación. Las pruebas se realizaron a escala de laboratorio en un equipo de jarras modelo JLTG (Leaching Test Digital). Se agregó agua sintética en 6 vasos de precipitado de 1 litro, utilizando uno de los vasos como control (patrón). Inmediatamente se adicionaron las dosis del coagulante *O. ficus indica* (desecado) y se inició el proceso de mezclado rápido programando el equipo a 100 rpm por un minuto, luego el mezclado lento se realizó a una velocidad de agitación de 30 rpm por 20 minutos. Finalmente, la sedimentación tuvo una duración de 30 minutos. Adicionalmente, se realizó la filtración de las muestras. Vale destacar que las pruebas finales se realizaron por triplicado para cada tratamiento.

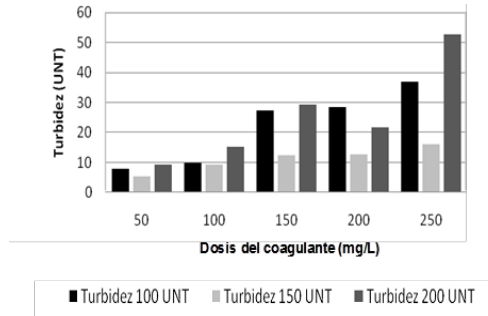
## **Parámetros fisicoquímicos**

Se determinaron los parámetros pH, turbidez y color mediante el procedimiento descrito en el APHA, AWWA, WEF (1998), antes y después del tratamiento con el coagulante. Por otra parte, para la selección de la dosis óptima del coagulante se consideró la menor dosis que removió el mayor porcentaje de turbidez (antes de la filtración), mientras que la eficiencia del coagulante se determinó comparando los porcentajes de remoción de turbidez con la muestra sin tratamiento (control).

## **Resultados y discusión**

El pH del agua fue alterado para evaluar la eficiencia del coagulante *O. ficus indica* frente a condiciones químicas ácidas (pH de 5 unidades), a valores de turbidez inicial de 100, 150 y 200 UNT. En la Figura 1 se presentan los resultados de turbidez residual obtenida para las diferentes dosis aplicadas, encontrándose un rango de 5,41 a 52,75 UNT. En este caso, la dosis óptima fue de 50 mg/L del coagulante *O. ficus indica*, para todas las turbiedades iniciales evaluadas. Adicionalmente, se puede observar en Figura 1 que los valores de turbidez residual más bajos se obtuvieron para la turbidez inicial intermedia (150 UNT), mostrando un comportamiento significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) a los encontrados para 100 y 200 UNT.

Los porcentajes de remoción que se obtuvieron antes de simular la filtración en su mayoría fueron altos (Tabla 1), exceptuando los porcentajes de las muestras de agua con una turbidez inicial de 100 UNT los cuales fueron inferiores a 75 % a partir de las dosis de 150, 200 y 250 mg/L de coagulante. El mismo caso se presentó para el agua con turbidez inicial de 200 UNT tratada con la dosis de 250 mg/L de coagulante (73,63 %). En cambio, para el resto de las dosis los porcentajes de remoción variaron entre 85,28 % y 96,39 %. Además se observó mayor efectividad del coagulante para la turbidez inicial de 150 UNT.



**Figura 1.** Turbiedades del agua sintética después del tratamiento con el coagulante natural *O. ficus indica*, antes de la fase de filtración.

**Tabla 1.** Porcentajes de remoción de turbidez después de aplicar el coagulante *O. ficus indica* antes (SF) y después de la filtración (DF).

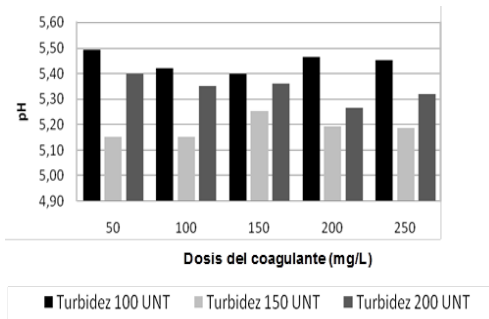
Dosis del coagulante (mg/L)	Turbidez 100 UNT		Turbidez 150 UNT		Turbidez 200 UNT	
	Remoción de turbidez (%)		Remoción de turbidez (%)		Remoción de turbidez (%)	
	SF	DF	SF	DF	SF	DF
50	91,99	98,87	96,39	99,64	95,41	99,54
100	90,23	98,98	93,86	98,09	92,38	99,43
150	72,60	98,39	91,70	99,14	85,28	99,56
200	71,63	98,64	91,62	99,44	89,10	99,31
250	63,13	98,06	89,31	99,44	73,63	99,60

Por otra parte, después de filtrar los valores de turbiedad alcanzados variaron desde 0,54 a 1,94 UNT ajustándose así a los valores permitidos en las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable (Gaceta Oficial, 1998). Mientras que las remociones de turbidez superaron el 98 % (Tabla 1).

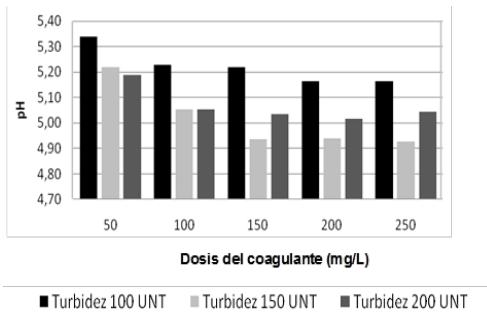
En cuanto a los valores de pH luego del tratamiento con el coagulante, se observa en la Figura 2 que para la turbiedad inicial de 150 UNT, superaron ligeramente al obtenido en la muestra inicial (5 unidades), oscilando entre 5,15 y 5,25 unidades a las diferentes dosis del coagulante aplicado. Los valores más altos de pH se registraron en las aguas

con turbidez inicial de 100 UNT (5,40 a 5,49 unidades). Es importante mencionar que la mezcla coagulante de *O. ficus indica* presentó un pH ácido, el cual se midió antes de cada prueba (5,00 a 6,12 unidades) y posiblemente por esta razón el pH no varió significativamente con respecto al pH de las muestras iniciales. Se ha comprobado que el aspecto más relevante de los coagulantes naturales es que remueven turbidez y color sin alterar de forma significativa el pH del agua (Fuentes y col. 2016; Aguirre y col., 2018).

También se evidenció que para el rango de turbidez inicial evaluado, la variación de la dosis del coagulante no causó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el pH de las aguas después del tratamiento. Posterior a la filtración los valores de pH presentaron una leve disminución con respecto a los conseguidos antes de simular la filtración. Como se puede observar en la Figura 3, el pH tuvo una fluctuación entre 4,93 y 5,34 unidades en las distintas muestras analizadas. Estos valores son menores al rango establecido en la normativa venezolana (Gaceta Oficial, 1998), el cual varía entre 6 a 9 unidades (valor máximo aceptable) de pH.

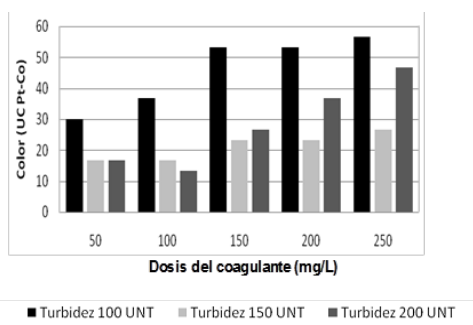


**Figura 2.** Variación de pH del agua sintética después del tratamiento con el coagulante natural *O. ficus indica*, antes de la filtración.



**Figura 3.** Variación de pH del agua sintética después del tratamiento con el coagulante natural *O. ficus indica*, posterior a la filtración.

Por otra parte, el color inicial de las muestras de agua sintética (200 UC Pt-Co) disminuyó después del tratamiento con el coagulante *O. ficus indica*, obteniéndose un rango entre 13 - 57 UC Pt-Co. Se puede observar en la Figura 4 que a medida que las dosis del coagulante son mayores, aumenta el color residual en las muestras. Se evidencia que para las dosis de coagulante de 150, 200 y 250 mg/L y turbidez inicial de 100 UNT, el color residual varió entre 53 - 57 UC Pt-Co. Mientras que, para aquellas muestras con turbidez inicial de 150 UNT el color fluctuó entre 23 - 27 UC Pt-Co, y por último, en las muestras de agua con una turbidez inicial de 200 UNT el color osciló entre 27 y 47 UC Pt-Co, para dichas dosis. Estos resultados indican que el color de las aguas es mayor al valor máximo permitido en la normativa venezolana (15 UC Pt-Co) para ser considerada agua potable (Gaceta Oficial, 1998).



**Figura 4.** Variación del color del agua sintética después del tratamiento con el coagulante natural *O. ficus indica*, antes de la filtración.

Los porcentajes de remoción de color en las muestras variaron entre 71,5 % y 93,5 %, para los diferentes valores de turbidez inicial evaluados en este estudio. También se puede destacar, que para las turbiedades iniciales de 150 y 200 UNT a dosis de 50, 100 y 150 mg/L, el coagulante *O. ficus indica* fue más efectivo en la remoción de color, obteniendo porcentajes que oscilaron entre 86,5 % y 93,5 %, dejando un residual de color entre 13 y 27 UC Pt-Co. De esta manera, se comprobó que el coagulante *O. ficus indica* fue más efectivo en la remoción de turbidez y color a valores de turbidez inicial de 150 UNT, obteniéndose más de 80 % de remoción antes de la fase de filtración.

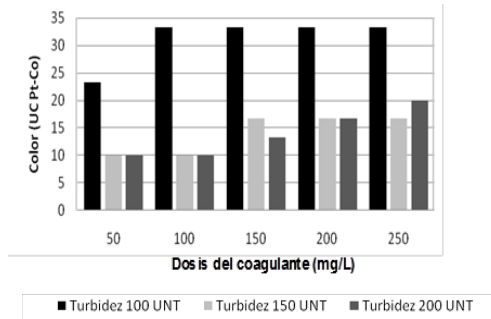
Después de filtrar, los valores de color residual se mantuvieron para algunos casos dentro de lo permisible según las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable (Gaceta Oficial, 1998), ubicándose valores entre 10 y 13 UC Pt-Co (Figura 5). Sin embargo, el rango en las demás muestras fluctuó entre 17 y 33 UC Pt-Co, el cual está fuera del rango permisible, aunque es importante resaltar la eficacia que tiene el coagulante *O. ficus indica* tomando en cuenta el color elevado (200 UC Pt-Co) que presentaron las muestras iniciales.

Asimismo, después de la filtración el color presentó un porcentaje de remoción del 83,33 % en todas las muestras con una turbidez inicial de 100 UNT, después de la



filtración. Mientras que los porcentajes de remoción en las muestras con una turbidez inicial de 150 UNT variaron de 91,67 % a 95 % y las muestras con una turbidez inicial de 200 UNT alcanzaron remociones entre 90 % y 95 %.

La eficiencia de remoción de turbidez (68,13 % a 96,39 %) obtenida en esta investigación para aguas turbias a condiciones de pH ácido, se podría comparar con los resultados obtenidos por otros investigadores, durante el tratamiento de aguas sintéticas con turbidez inicial entre 100 y 200 UNT, y rangos de pH cercanos a la neutralidad, empleando el coagulante *O. ficus indica*. González y col. (2009) destacan la efectividad de este coagulante en crudo, preparado en solución, en aguas con pH inicial 7,01 a 7,28 unidades; revelaron porcentajes de remoción de turbidez entre 91,39 % y 96,02 % antes de filtrar. Por su parte, Fuentes y col. (2014) probaron el coagulante *O. ficus indica* desecado a valores de pH inicial de 6,90 a 7,68 unidades y consiguieron remociones de turbiedad dentro del rango encontrado en esta investigación (84,77 % y 91,90 %).



**Figura 5.** Variación del color del agua sintética después del tratamiento con el coagulante natural *O. ficus indica*, posterior a la filtración.

También se destaca la investigación realizada por Miller y col. (2008), quienes estudiaron la eficacia y mecanismo del coagulante natural *Opuntia spp.* para su posible aplicación en el tratamiento de las aguas. Los resultados arrojaron que *Opuntia spp.* es capaz de reducir significativamente la turbidez a valores entre 5 y 7 UNT, alcanzando remociones en el rango de 92 % y 99 %. Además refieren que la efectividad de este coagulante no depende de la turbidez inicial. Por otra parte, encontraron que la actividad de coagulación de *Opuntia spp.* es mayor en las aguas con pH básico (8-10 unidades). Mientras que, Vaca y col. (2014) concluyeron que la aplicabilidad de *O. ficus indica* desecada representaría una opción de tratamiento sustentable de las aguas como un coagulante primario alternativo, de bajo costo, gran efectividad y sin efectos tóxicos al medio ambiente, acompañado de otros procesos como la desinfección con sustancias alternativas.

En cuanto a la formación de flóculos, fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores (Arboleda,

2000), las muestras tratadas con *O. ficus indica*, mostraron flóculos de forma esférica, abundantes y de tamaño mediano (Figura 6). Estos flóculos podrían ser resultado de la acción de los mecanismos de adsorción y puente químico, propuestos para *O. ficus indica* (Miller y col., 2008).



**Figura 6.** Forma y tamaño de los flóculos formados durante el tratamiento de aguas sintéticas ácidas con el coagulante *O. ficus indica* desecado.

En este sentido, según resultados de varias investigaciones, el ácido galacturónico es posiblemente un ingrediente activo que proporciona la capacidad de coagulación de *Opuntia spp*, debido a que este ácido predomina en especies vegetales en forma polimérica (ácido poligalacturónico) cuya estructura indica que es aniónico y la existencia de grupos carboxílicos a lo largo de la cadena, implica que puede darse la adsorción química entre partículas cargadas suspendidas en el agua y estos grupos funcionales. Por su parte, Vaca y col. (2014) indicaron que el mecanismo de floculación de *O. ficus indica* es por puentes, debido al carácter hidrofílico del mucílago y que su eficiencia incrementa proporcionalmente a la concentración del mucílago. Mientras que Ramírez y Jaramillo (2015) concluyeron que los coagulantes naturales funcionan mediante un mecanismo de adsorción seguido por la neutralización de carga.

## Conclusiones

El coagulante *O. ficus indica* desecado es eficiente para remover turbidez (63,13 % - 96,39 %) y color (71,5 % - 93,5 %) de aguas con alta de turbidez inicial (100, 150 y 200 UNT) a condiciones de pH ácido (5 unidades), representando una alternativa a los coagulantes tradicionales y una opción ambientalmente amigable para aguas turbias ácidas que requieran clarificación.

El coagulante fue más efectivo en la remoción de turbidez y color a valores de turbidez inicial de 150 UNT, obteniéndose más de 80 % de remoción antes de la fase de filtración.

Por otra parte, se evidenció que el pH ácido del agua no afectó significativamente la eficiencia del coagulante.

## Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el financiamiento a esta investigación.

## Referencias bibliográficas

- Aguirre S., Piraneque N. y Cruz R. (2018). Sustancias naturales: Alternativa para el tratamiento de agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información Tecnológica* 29 (3), 59-70.
- APHA, AWWA, WEF. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environmental Federation. 20th Washington, DC, USA.
- Arboleda J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tomo 1. Tercera Edición. Editorial McGraw-Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Fuentes L., Gutiérrez M., Mendoza I., Caldera Y. y González Y. (2014). Uso del mucílago desecado de *Opuntia ficus-indica* (Miller) (Cactaceae) como coagulante en la clarificación del agua. *Memorias del II Congreso y VI Jornadas Internacionales de Postgrado e Investigación*. Núcleo LUZCOL. Zulia, Cabimas. (Consulta: 01 marzo 2017). Disponible en: [http://www.col.luz.edu.ve/images/stories/descargas/Memorias\\_Eventos/ii%20congreso%20vi%20jornadas%20internacionales%20luzcol.pdf](http://www.col.luz.edu.ve/images/stories/descargas/Memorias_Eventos/ii%20congreso%20vi%20jornadas%20internacionales%20luzcol.pdf)
- Fuentes L., Mendoza I., Díaz P., Fernández Y., Zambrano A. y Villegas Z. (2012). Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill. (Cactaceae) en aguas para consumo humano. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 46 (2), 173-187.
- Fuentes N., Molina E. y Ariza C. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del  $Al_2(SO_4)_3$  para clarificación de aguas. *Producción + Limpia* 11 (2), 41-54.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395 del 13 de febrero. Caracas, Venezuela.
- González Y., Marcano N., Mendoza I. y Fuentes L. (2009). Efectividad de una suspensión de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez. *Impacto Científico* 4 (2), 361-374.
- Lozano L. (2011). Ecofisiología de la tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) *Horticultura Argentina* 30 (72), 37-52.
- Miller S., Fugate E., Craver V., Smith J. y Zimmerman J. (2008). Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia spp.* as a natural coagulant for potential application in water treatment. *Environ. Sci. Technol.* 42, 4274-4279.

- Nougbodé Y., Agbangnan C., Koudoro A., Dèdjiho C., Aïna M., Mama D. y Sohounhloué D. (2013). Evaluation of the *Opuntia dillenii* as natural coagulant in water clarification: case of treatment of highly turbid surface water. *Journal of Water Resource and Protection* 5, 1242-1246.
- 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.
- Ramírez H. y Jaramillo J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11 (2), 136-153.
- Romero J. (2005). *Calidad del Agua*. 2da Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.
- Vaca M., López R., Flores J., Terres H., Lizardi A. y Rojas M. (2014). Aplicación del nopal (*Opuntia ficusindica*) como coagulante primario de aguas residuales. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica* 7 (3), 210-216.