

Opuntia ficus-indica y Opuntia wentiana: estudio comparativo sobre su efectividad como coagulantes en la clarificación del agua

Yoalis González, Lorena Fuentes, Iván Mendoza y Yaxcelys Caldera

Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL).

Universidad del Zulia. Cabimas, estado Zulia, Venezuela.

yoalis_gonzalez@hotmail.com

Recibido: 23-06-2015 Aceptado: 10-11-2015

Resumen

Para remover las partículas suspendidas y materia orgánica en descomposición presentes en las aguas naturales es necesario aplicar coagulantes que permitan obtener un agua de calidad para consumo humano. Por esta razón, se han desarrollado diversos estudios con especies vegetales del género *Opuntia* para clarificar las aguas, como alternativa a los coagulantes de origen químico. Este estudio tuvo como objetivo comparar la efectividad de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia wentiana* como coagulantes en la clarificación de aguas destinadas al consumo humano. Se seleccionaron varias investigaciones desarrolladas en el área de clarificación de aguas con coagulantes extraídos de *O. ficus-indica* y *O. wentiana*, se realizó una matriz de registro de dichos coagulantes y la metodología para su obtención. La efectividad de estos coagulantes se evidenció a partir de los porcentajes de remoción de turbidez y color después de la etapa de sedimentación. Las investigaciones demostraron la efectividad que poseen estas cactáceas, pues se registraron remociones de turbidez por encima de 82,98% con *O. ficus-indica* y por encima de 79,30% utilizando *O. wentiana*, ambas en forma cruda y desecada. Se determinó que *O. ficus-indica* (cruda) es más eficiente en la clarificación del agua y representa una alternativa para su aplicación a gran escala.

Palabras clave: Coagulantes, *O. ficus-indica*, *O. wentiana*, remoción de turbidez, clarificación del agua.

Opuntia ficus-indica and Opuntia wentiana: comparative study on its effectiveness as a coagulant in water clarification

Abstract

To remove the suspended particles and organic matter in decomposition present in the natural waters it is necessary to apply coagulants that allow to obtain a quality water for human consumption. For this reason, diverse studies have developed with vegetable species of the genus *Opuntia* to clarify the waters, as alternative to the coagulants of chemical origin. This study had as aim compare the effectiveness of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia wentiana* as coagulants in the clarification of waters destined for the human consumption. There were selected several investigations developed in the area of water clarification with coagulants extracted of *O. ficus-indica* and *O. wentiana*, was realized a counterfoil of record of the above mentioned coagulants and the methodology for his obtaining. The efficiency of these coagulants was demonstrated from the percentages of removal of turbidity and color after the stage of sedimentation. Investigations demonstrated the effectiveness that possess these cactacea, as they were removal of turbidity above 82,98% with *O. ficus-indica* and above 79,30% using *O. wentiana*, both in raw and dried form. It was determined that *O. ficus-indica* (raw) is more efficient in water clarification and represents an alternative for its application on a large scale.

Keywords: Coagulants, *O. ficus-indica*, *O. wentiana*, turbidity removal, water clarification.

Introducción

A nivel mundial, la contaminación de los cuerpos de agua se ha convertido en un grave problema que afecta directamente a la población y biodiversidad. Todo ser vivo necesita agua para su adecuado desarrollo. Por esta razón, el hombre está obligado a hacer un mejor uso de este recurso y evitar en lo posible la degradación de la calidad de las aguas. Sin embargo, muchas veces, el origen de la contaminación de las aguas se debe principalmente a la actuación humana, a partir de la descarga de desechos y el desarrollo de actividades agrícolas [1].

En Venezuela, las fuentes de agua dulce provienen de agua superficial (60%) y aguas subterráneas (40%). Los recursos disponibles permiten abastecer a un 87% de la población nacional y a 387.500 Ha bajo riego. De esa disponibilidad se estima que el 43% se destina al consumo humano o doméstico, el 46% para uso agrícola, mientras que el 11% restante es para uso industrial [2]. Esta cantidad de agua dulce disponible, generalmente presenta partículas en suspensión que le confieren elevada turbiedad y color. Para ajustar estos parámetros a las normativas establecidas, el agua se somete a una serie de tratamientos que constan de varias etapas: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En la primera etapa, es necesario utilizar agentes coagulantes como sulfato de aluminio, cloruro férrico o policloruro de aluminio, entre otros, para causar la desestabilización de las partículas, a través de una agitación rápida.

Para establecer los valores máximos de aquellos componentes o características del agua, que pudieran representar un riesgo para la salud de la comunidad, se cuenta con las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable [3], la cual establece los valores ideales de los parámetros turbidez, color, olor, pH, acidez, dureza y sólidos disueltos totales, entre otros.

Por otra parte, debido al vínculo establecido por varios investigadores entre el aluminio presente en los coagulantes químicos y las enfermedades neurodegenerativas [4], resulta conveniente utilizar productos naturales en el tratamiento del agua, que permitan remover eficientemente la turbidez y color, sin causar efectos colaterales a la salud. Entre los coagulantes de origen natural que se han reportado en la literatura se tienen las semillas de *Moringa oleifera*, las cactáceas *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb., *Hylocereus lemairei* (Hook.) Britton & Rose, *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) y *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae), entre otras.

Tomando en cuenta lo planteado, en este estudio se consideró oportuno comparar la efectividad de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) y *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) en la remoción de turbidez y color de aguas destinadas al consumo humano, pues estas especies han demostrado ser efectivas en la clarificación de aguas crudas y sintéticas.

Metodología

Técnicas e instrumentos de recolección

Se utilizó la técnica de revisión documental, a partir de la selección de cinco investigaciones realizadas en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia, Venezuela. Dichos estudios están orientados al uso de coagulantes naturales del género *Opuntia* para la potabilización del agua. Se realizaron matrices de registro (instrumento) para señalar el procedimiento en la obtención del mucílago o componente activo de las especies vegetales *O. ficus-indica* y *O. wentiana* para favorecer la coagulación y floculación. También se contempló la dosis de coagulante aplicada a los distintos valores de turbidez inicial.

Asimismo, se plasmó la información referida a los porcentajes de remoción de turbidez y color en las aguas tratadas con cada coagulante, y se consideró la variación de pH y alcalinidad después del tratamiento. Los valores reflejados en la matriz de registro se compararon con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela [3], en cuanto a niveles de turbidez, color y pH.

Finalmente, a partir de los valores reportados en las investigaciones, se realizó una comparación entre ellas a fin de determinar cuál de los coagulantes resulta más efectivo en la remoción de color y turbidez, partiendo de la dosis óptima.

Resultados y discusión

Para describir la efectividad que poseen *O. ficus-indica* y *O. wentiana* como coagulantes, es necesario plantear la metodología aplicada por los investigadores para la obtención del mucílago responsable de la formación de flóculos. En la Tabla 1 se presenta la matriz de registro con dicha información, además de las dosis de coagulante aplicadas y los niveles de turbidez inicial estudiados.

El procedimiento para extraer el agente coagulante es similar para las dos cactáceas en estudio (*O. ficus-indica* y *O. wentiana*), dependiendo de su forma de aplicación (cruda o desecada). En cuanto a la obtención de estas plantas, la mayoría de ellas se recolectaron en la Costa Oriental del Lago, específicamente en el municipio Cabimas del estado Zulia, quiere decir que en esta zona se reproducen estas especies en abundancia, al igual que otras cactáceas como *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. [5] y *Opuntia cochinellifera* [6].

Cuando estos coagulantes se aplican en forma cruda, los investigadores [7] resaltan la importancia en el control del tiempo de licuado, ya que un exceso de éste podría afectar la elasticidad del mucílago y por tanto, la capacidad para la formación de flóculos disminuiría considerablemente. Asimismo, Aldana et al. [8] y Riera et al. [9], quienes utilizaron *O. ficus-indica* y *O. wentiana*, respectivamente, destacan la importancia del control de la temperatura al momento de someter el tejido parenquimatoso a desecado, pues una temperatura mayor de 60 °C podría causar la desnaturalización de las proteínas presentes en estas cactáceas y por ende, la disminución de su potencial coagulante.

Con respecto a los niveles de turbiedad estudiados, se observa que en su mayoría, sobrepasan las 100 UNT, lo cual implica que posiblemente los coagulantes aplicados deben tener una elevada efectividad para eliminar las partículas suspendidas presentes en las aguas. También se observa que las dosis aplicadas son diferentes y los valores de color se ubican entre 50 y 400 UC Pt-Co.

Para iniciar el tratamiento con los coagulantes, los investigadores siguieron los pasos establecidos en el Standard Methods [10]. Utilizaron un equipo de jarras que se encarga de reproducir a escala de laboratorio las etapas de coagulación, floculación y sedimentación, comúnmente efectuadas en las plantas de potabilización. Activaron el equipo a 1 minuto de mezclado rápido (100 rpm), 20 minutos de mezclado lento (30 rpm) y 30 minutos de sedimentación; posteriormente, sometieron las muestras a filtración. Los parámetros físicos turbidez y color los determinaron a través de un turbidímetro y colorímetro, respectivamente. Para registrar los valores de pH utilizaron un potenciómetro y la alcalinidad la midieron por titulación con H₂SO₄ (0,02 N) y usaron anaranjado de metilo como indicador. Dichos parámetros los evaluaron antes y después de la etapa de filtración.

Tabla 1. Matriz de registro de la metodología utilizada para la obtención de coagulantes a partir de las especies *O. ficus-indica* y *O. wentiana* en la clarificación de las aguas.

Cactácea	Metodología para la obtención del coagulante	Dosis de coagulante aplicadas (ppm)	Valores de turbidez inicial (UNT)	Rangos de color inicial (UC Pt - Co)
<i>O. ficus-indica</i> (cruda) [7]	Recolectados los cladodios (Callejón Cabimas, municipio Cabimas, Edo. Zulia), se procedió a lavarlos muy bien, se les retiró la epidermis y se separó el mesófilo. Se cortó en trozos pequeños para someterlos a un licuado durante 5 segundos hasta obtener una mezcla mucilaginosa. Seguidamente, se preparó una suspensión al 50 % m/v.	250	100	300 - 400
		350	120	
		450	140	
		550	160	
		650	180	
			200	
<i>O. ficus-indica</i> (desexada) [8]	Se recolectó en el sector Las 40, municipio Cabimas, edo. Zulia, se trasladó al laboratorio. Se procedió a lavarla y retirar la epidermis, para la obtención del parénquima. Posteriormente, se sometió a calentamiento en la estufa a una temperatura no mayor de 60°C, durante 24 horas. Se trituro el desecado hasta obtener un polvo fino, se tamizó para separar las partículas gruesas y se guardó en un envase hermético a una temperatura de 5 °C. Finalmente se preparó una mezcla al 10 % m/v.	150	118	200 - 280
		200	133	
		250	162	
		300	178	
		350	259	
			288	
<i>O. wentiana</i> (cruda) [11]	La tuna se recolectó en el sector Monte Pío de la Costa Oriental del Lago, Cabimas, edo. Zulia, Venezuela. Obtenido el tejido parenquimatoso en el laboratorio, se licuó en un procesador doméstico durante 50 segundos, se separó la fase sólida de la acuosa con ayuda de un lienzo de gasa y se agregó en agua destilada para obtener una mezcla heterogénea mucilaginosa en una relación 1:1.	300	100	≥100
		400	120	
		500	140	
		600	160	
		700	180	
			200	

<i>O. wentiana</i> (cruda) [12]	Se seleccionaron los cladodios en el sector El Menito, Lagunillas, edo. Zulia. Se realizó una limpieza de la cactácea que consistió en remover las espinas y la epidermis para obtener el tejido parenquimatoso. Luego se licuó por 30 segundos para obtener una muestra mucilaginoso para la preparación de la mezcla coagulante al 50 % m/v.	100	20	50 - >100
		200	40	
		300	60	
		400	80	
		500	100	
<i>O. wentiana</i> (cruda) [9]	Se recolectaron los cladodios de <i>O. wentiana</i> , en el sector Monte Pío (Cabimas, edo. Zulia), se trasladaron al laboratorio, se eliminó la epidermis y se separó el tejido parenquimatoso. Consecutivamente, se sometió a desecado en una estufa a una temperatura no mayor de 50 °C, durante 24 horas. Luego se trituró, tamizó y refrigeró para su preservación. Posteriormente, se preparó una mezcla al 9 % m/v y se almacenó durante 24 horas a 4 °C para la hidratación del mucílago.	81	100	100 - 400
		108	120	
		135	140	
		162	150	
		189	160	
			180	
			200	

Efectividad de *O. ficus-indica* y *O. wentiana* en su forma cruda, después de la etapa de sedimentación

En la Figura 1 se muestra la efectividad en cuanto a remoción de turbidez de los coagulantes (en crudo) una vez finalizada la sedimentación de los flóculos, tomando en cuenta las dosis óptimas reportadas por García y Brito [12] (*O. wentiana* cruda), Parra et al. [11] (*O. wentiana* cruda) y González et al. [7] (*O. ficus-indica* cruda). Para valores de turbiedad inicial comprendidos entre 20 y 100 UNT, se observa que con *O. wentiana* obtuvieron porcentajes de remoción superiores al 75%, a partir de dosis óptimas de 200, 300, 400 y 500 ppm, se observó que a medida que aumenta la turbidez inicial, las muestras de agua requieren de una dosis mayor de coagulante, excepto para una turbidez inicial de 100 UNT, pues ésta no se ubicó en la misma tendencia de los valores anteriores, por lo cual puede decirse que requiere una mayor dosis del coagulante para obtener un porcentaje de remoción de turbiedad más elevado. Sin embargo, la remoción obtenida fue de 83% aproximadamente (al aplicar 500 ppm del coagulante), y se considera aceptable. No obstante, se puede observar que este porcentaje de remoción varía con respecto al obtenido por Parra et al. [11], 92% aproximadamente, a partir de una dosis de 700 ppm.

En relación al comportamiento de *O. wentiana* a valores más altos de turbidez, se observa que para las turbiedades de 120 y 160 UNT, con una dosis óptima aplicada de 700 ppm, el porcentaje de remoción disminuyó de 92,11% a 85%. Al aumentar el valor de turbiedad inicial, las dosis de coagulante fueron menores (600 ppm) y se removió en un mayor porcentaje la turbiedad (hasta 95% aproximadamente). Por tanto, se puede decir que a mayores turbiedades, se requiere menos dosis de coagulante para la remoción de partículas.

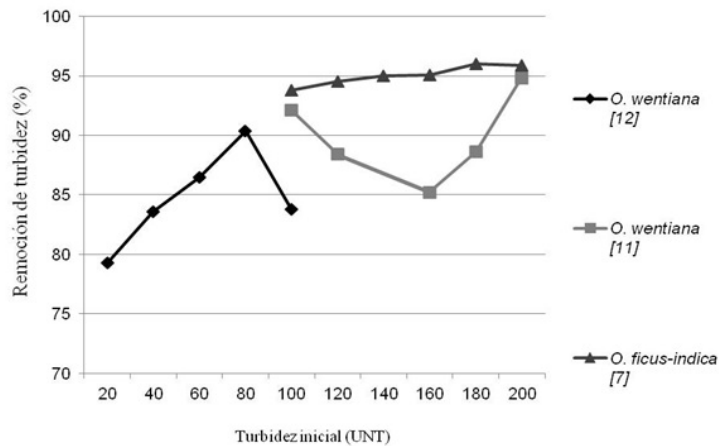


Figura 1. Remoción de turbidez utilizando *O. ficus-indica* y *O. wentiana* en forma cruda, considerando las dosis óptimas.

Los valores reportados por González et al. [7] (*O. ficus-indica* cruda) muestran porcentajes de remoción más elevados, entre 93,78% y 95,89%, a valores de turbidez inicial de 100 a 200 UNT. Dichos valores se alcanzaron a partir de la aplicación de 350 y 450 ppm de coagulante.

Los porcentajes de remoción referidos por Parra et al. [11] (*O. wentiana* cruda) y González et al. [7] (*O. ficus-indica* cruda), correspondientes a las turbiedades de 100 y 200 UNT, son muy similares, entre 93% y 95%, respectivamente. Pero las dosis aplicadas de *O. ficus-indica* son mucho menores que las de *O. wentiana*, por lo cual puede afirmarse que la cactácea *O. ficus-indica* en forma cruda es más efectiva para la remoción de turbidez.

Efectividad de *O. ficus-indica* y *O. wentiana* en forma desecada, después de la etapa de sedimentación

Los estudios realizados con *O. ficus-indica* y *O. wentiana*, en forma desecada, se han realizado a valores altos de turbidez inicial, desde 100 a 288 UNT. En la Figura 2 se observa para ambos coagulantes, porcentajes de remoción superiores al 87%.

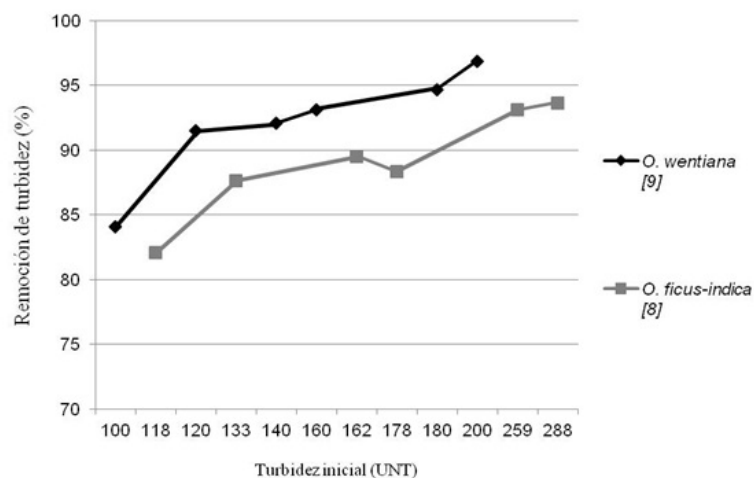


Figura 2. Remoción de turbidez utilizando *O. ficus-indica* y *O. wentiana* en forma desecada, considerando las dosis óptimas.

Específicamente, Riera et al. [9] (*O. wentiana* desecada) alcanzaron porcentajes de remoción de turbidez comprendidos entre 84,1% y 96,9% con la aplicación de dosis óptimas de 108, 135, 162 y 189 ppm. Se observa que a medida que aumenta el nivel de turbidez inicial, aumentan los porcentajes de remoción. La dosis utilizada para una turbidez de 100 UNT fue de 189 ppm y para 200 UNT fue de 162 ppm, lo cual revela que a mayor turbidez se requiere menor dosis de coagulante. Con esta última dosis se alcanzó el porcentaje de remoción más alto (96,9%).

Por su parte, Aldana et al. [8] señalan porcentajes de remoción de turbidez entre 82,09% y 93,66% con la aplicación de 150, 200 y 250 ppm de la mezcla coagulante de *O. ficus-indica* (desecada). En cuanto a la efectividad de este coagulante, se observa un comportamiento similar a *O. wentiana*, es decir, a medida que aumenta la turbidez, se obtiene una mayor remoción. Sin embargo, estos investigadores aplicaron dosis más altas y obtuvieron porcentajes de remoción menores a los mostrados por Riera et al. [9]. Para este caso, el coagulante más eficiente fue *O. wentiana*.

Al comparar los resultados obtenidos por García y Brito [12] (*O. wentiana* cruda), Parra et al. [11] (*O. wentiana* cruda), González et al. [7] (*O. ficus-indica* cruda), Riera et al. [9] (*O. wentiana* desecada) y Aldana et al. [8] (*O. wentiana* desecada), se observa que la efectividad de *O. ficus-indica* y *O. wentiana* es excelente, ya que los porcentajes de remoción de turbidez superan el 80%. Estos porcentajes son mayores a los registrados por Almenázar [13] con el uso del desecado de *Opuntia cochinellifera*, donde se obtuvo una remoción de 63% sin corrección de pH. Por otra parte, los valores reportados por Fuentes et al. [14] son similares a los analizados en este estudio, ya que obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez entre 78,59% y 85,88% utilizando *O. cochinellifera* (cruda) como coagulante. Sin embargo, las dosis óptimas del coagulante variaron de 4500 ppm a 8000 ppm. Asimismo, Jiménez et al. [15] al emplear la misma cactácea reportaron remociones de turbidez y color de 100% y 94%, respectivamente, a partir de una dosis de coagulante de 45 ppm, cabe destacar que dicho coagulante lo aplicaron en aguas artificiales, pues según los autores, la cactácea no tuvo efectividad al ser aplicada en aguas de río.

Remoción de turbidez después de la etapa de filtración

Después de la etapa de filtración las muestras de agua deben presentar un valor de turbidez óptimo (≤ 5 UNT) para consumo humano. Al finalizar el filtrado, los autores exponen porcentajes máximos de remoción de 98,34% (*O. wentiana* (cruda) [11]); 97,99% (*O. wentiana* (cruda) [12]); 99,09% (*O. ficus-indica* (cruda) [7]); 99,3% (*O. wentiana* (desecada) [9]) y 99,39% (*O. ficus-indica* (desecada) [8]). Dichos porcentajes corresponden a valores de turbidez inferiores a 3,32 UNT, por lo que son aceptables según lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela [3].

Remoción de color en aguas tratadas con *O. ficus-indica* y *O. wentiana*

Las unidades de color obtenidas con el uso de *O. ficus-indica* se registraron relativamente bajas antes del proceso de filtración, entre 20 y 30 UC Pt-Co, equivalentes a porcentajes de remoción entre 75% y 91,07% al aplicar dosis de 150 a 350 ppm (*O. ficus-indica* desecada [8]), lo cual evidencia el gran potencial de este coagulante en la remoción de color. Después de filtrar los porcentajes se ubicaron entre 85% y 94,64% (10 – 20 UC Pt-Co). González et al. [7] (*O. ficus-indica* cruda) señalan valores de color comprendidos entre 5 y 20 UC Pt-Co correspondientes a porcentajes de remoción entre 95% y 98,75%, sin filtrar. Después de filtrar, obtuvieron porcentajes de remoción de color que alcanzaron hasta 100%. Es decir, *O. ficus-indica* (cruda) es más eficiente en la remoción de color.

Con respecto al empleo de *O. wentiana*, los valores de color al aplicar este coagulante se ubicaron entre 70 y 80 UC Pt-Co, antes de filtrar y entre 50 y 80 UC Pt-Co, después de filtrar para valores de color inicial mayores de 100 UC Pt-Co (*O. wentiana* cruda [11]). Estos resultados difieren con respecto a los obtenidos por García y Brito [12] (*O. wentiana* cruda), pues ellos registraron unidades de color entre 10 y 20 antes de la filtración y entre 5 y 10 UC Pt-Co, después de la misma, para valores de color inicial por encima de 100 UC Pt-Co. En su forma desecada, *O. wentiana* arrojó resultados de color en un rango de 10 a 70 UC Pt-Co (81,07% - 84,10% de remoción) antes del filtrado y de 5 a 40 UC Pt-Co (94,07% - 95,83% de remoción) después del filtrado [9].

Aunque algunos de los valores reportados por los autores no son aceptables según las normas, es importante resaltar el grado de eficiencia que poseen estas cactáceas en cuanto a la remoción de color, con relación al valor inicial en las muestras de agua analizadas.

Parámetro pH y alcalinidad en las muestras de agua tratadas con *O. ficus-indica* y *O. wentiana*

Con relación al parámetro pH, las muestras de agua tratadas con *O. wentiana*, arrojaron valores comprendidos entre 7,01 y 7,58 (*O. wentiana* cruda [11]), entre 7,18 y 7,34 (*O. wentiana* cruda [12]) y entre 5,8 y 6,53 (*O. wentiana* desecada [9]). En este último estudio los valores son ligeramente ácidos y por tanto no se ubican en el rango establecido en las normas (6,5 – 8,5).

Las unidades de pH registradas con la aplicación de *O. ficus-indica* fluctuaron entre 5,99 y 6,84 (*O. ficus-indica* desecada [8]) y entre 6,78 y 7,23 (*O. ficus-indica* cruda [7]), observándose que este último estudio si cumple con lo estipulado en la Gaceta Oficial [3].

La alcalinidad es un parámetro que todos los investigadores registraron por debajo de 40 mg CaCO₃/L, por lo cual se considera una alcalinidad baja según Doudelet [16] ya que es menor de 140 mg CaCO₃/L. La norma venezolana no contempla la alcalinidad como parámetro de calidad en las aguas.

En general, a lo largo de la descripción, análisis y comparación de los resultados obtenidos por investigadores que han empleado las cactáceas *O. ficus-indica* y *O. wentiana* en la clarificación de las aguas, se pudo notar que son altamente efectivas, tanto en forma cruda como desecada, por lo cual representan una opción viable para su implementación en las plantas de tratamiento o de forma rudimentaria en las comunidades.

Conclusiones

La efectividad de *O. ficus-indica* se evidenció en los porcentajes de remoción de turbidez después de la sedimentación, ubicados entre 93,78% y 96,02% utilizada en crudo, y entre 82,98% y 93,66% utilizada en su forma desecada. Los valores de remoción arrojados por *O. wentiana* oscilan entre 79,30% y 94,84% y entre 84,1 y 96,9%, en su forma cruda y desecada, respectivamente. Dichos resultados indican que *O. ficus-indica* (cruda) es más eficiente en la remoción de turbidez.

En la remoción de color, se mostraron porcentajes máximos de 84,1% (*O. wentiana*) y de 100% con el uso de *O. ficus-indica*. Razón por la cual se considera que *O. ficus-indica* (cruda) es la más efectiva en la remoción de color del agua.

Los valores de pH arrojados con el uso de *O. ficus-indica* y *O. wentiana*, en su mayoría se encuentran dentro de lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela. Mientras que la alcalinidad se registró por debajo de 40 mg CaCO₃/L, lo cual también se considera aceptable.

Se determinó que *O. ficus-indica* (cruda) es más eficiente en la clarificación del agua y representa una alternativa viable para su aplicación a gran escala.

Referencias bibliográficas

1. Martínez N. El proceso de ocupación en la cuenca del embalse la mariposa y sus efectos de deterioro en el embalse y sus aguas. *Terra Nueva Etapa*. 16(25), (2000), 27-55.
2. Dautant R. y Guevara E. Recursos hídricos – Venezuela 2011. Centro del Agua para América Latina y el Caribe 1(1), (2011),1-67.
3. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.395 SG-018-98. Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. (1998).
4. Suay L. y Ballester F. Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer. *Revista Española de Salud Pública*. 76(6), (2002), 645-658.
5. Fuentes L., Mendoza I., López A., Castro M. y Urdaneta C. Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. *Rev. Téc. Ing. Universidad del Zulia*. 34(1), (2011), 48-56.

6. Díaz P., Fernández Y. y Zambrano A. Efectividad de la tuna *Opuntia cochinellifera* como coagulante en la potabilización de las aguas. Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. Cabimas, Venezuela. (2007).
7. González Y., Marcano N., Mendoza I. y Fuentes L. Efectividad de una suspensión de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez. *Impacto Científico*. 4(2), (2009), 361-374.
8. Aldana M., Labarca C. Y Milán D. Efectividad del mucílago desecado obtenido de *Opuntia ficus-indica* en la potabilización de aguas con alta turbidez. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. Cabimas, Venezuela. (2012), 62 p.
9. Riera M., Mosquera J. y Velásquez B. Eficiencia del mucílago desecado de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) en la clarificación de aguas sintéticas de alta turbidez. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. Cabimas, Venezuela. (2012).
10. APHA - AWWA - WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th Ed. Washington. (1998), DC, USA.
11. Parra Y., Cedeño M., García M., Mendoza I., González Y. y Fuentes L. Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) / (Cactaceae). *REDIELUZ*. 1(1), (2011), 27-33.
12. García H. y Brito C. Remoción de turbidez en el tratamiento del agua potable con el uso de la *Opuntia wentiana* Britton & Rose. Trabajo de grado para optar al título de Ing. Civil. Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago. (2008), 71 p.
13. Almendárez N. Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del Lago de Managua. Piedras Azules. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 5(1), (2004), 46-53.
14. Fuentes L., Mendoza I., Díaz P., Fernández Y., Zambrano A. y Villegas Z. Potencial coagulante de la tuna *Opuntia cochinellifera* (L.) Mill. (Cactaceae) en aguas para consumo humano. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas* 46(2), (2012), 173-187.
15. Jiménez J., Vargas M. y Quiróz N. Evaluación de la tuna (*Opuntia cochinellifera*) para la remoción del color en agua potable. *Tecnología en Marcha*. 25(4), (2012), 55-62.
16. Doudelet A. Estudio de las aguas minerales. *Geotermia*, 4, (1981), 5-28.

