



Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo Costa Oriental del Lago



 **mpacto** *Científico*

Universidad del Zulia

Junio 2016
Vol. 11 N° 1

ppi 201502ZU4641
Esta publicación científica en formato digital
es continuidad de la revista impresa
Depósito Legal: pp 200602ZU2811 / ISSN:1836-5042

Clarificación de aguas altamente turbias empleando *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb. como coagulante

***Yoalis González, Iván Mendoza, Yaxcelys Caldera, Aguasanta
Osorio y Luis Yoris***

*Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. Laboratorio de
Investigaciones Ambientales (LIANCOL)
yoalis_gonzalez@hotmail.com*

Resumen

El agua para consumo humano debe cumplir con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en las normativas. Para ajustar las aguas a los valores estipulados, se recurre al proceso de potabilización donde se emplean coagulantes de origen químico. Sin embargo, debido a las desventajas que imponen dichos coagulantes, se hace necesario el uso de coagulantes alternativos de origen natural para clarificar aguas. En este estudio se evaluó la efectividad de *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb. como coagulante en la clarificación de aguas altamente turbias. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, se prepararon aguas sintéticas con turbiedades entre 200 y 300 UNT y fueron tratadas con diferentes dosis del coagulante natural (937, 1405, 1873, 2342 y 2810 ppm). Se midieron los parámetros turbidez, pH, color y alcalinidad. Los porcentajes de remoción de turbidez fluctuaron entre 93,19% y 97,10% antes de la filtración y entre 98,29% y 99,37% después de la filtración. La remoción de color se ubicó entre 85,94 % y 87,96 % antes de filtrar y entre 90,63 % y 94,44 % después de filtrar. El parámetro pH se ubicó entre 6,97 y 7,23 unidades y la alcalinidad presentó valores menores a 34 mg CaCO₃/L después del filtrado. Los parámetros fisicoquímicos evaluados en este estudio se mantuvieron dentro de los estándares exigidos en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable, Venezuela.

Palabras clave: *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb.; coagulante; clarificación de aguas; aguas altamente turbias.

Clarification of water with high turbidity using *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb. as coagulant

Abstract

The water for human consumption must meet the physicochemical and microbiological parameters established in the regulations. To adjust the water from calculated values, it is used to process water treatment chemical origin where coagulants are used. However, due to the disadvantages they impose such coagulants, coagulants alternative use naturally occurring water necessary to clarify. In this study the effectiveness of *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb was evaluated as a coagulant in the clarification of highly turbid waters. Assays were performed on a laboratory scale, synthetic water turbidities were prepared with between 200 and 300 NTU and were treated with different doses of natural coagulant (937, 1405, 1873, 2342 and 2810 ppm). parameters turbidity, pH, color and alkalinity were measured. Removal percentages turbidity ranged from 93.19% to 97.10% before filtration and between 98.29% and 99.37% after filtration. The color removal was between 85.94% and 87.96% before filtering and between 90.63% and 94.44% after filtration. The parameter pH was between 6.97 and 7.23 units and alkalinity showed lower values to 34 mg CaCO₃ / L after filtering. Physico-chemical parameters evaluated in this study were within the standards required by the Health Standards for Drinking Water Quality of Venezuela.

Keywords: *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb.; Coagulant; water clarification; highly turbid waters.

Introducción

El agua está involucrada en todas las actividades productivas y su importancia para la vida, la convierten en un recurso fundamental para la calidad de vida de los pueblos (Fernández y Du Mortier, 2005). Debido a los múltiples usos que puede tener el agua desde el punto de vista doméstico, industrial, agropecuario y recreacional, representa el recurso más importante para los seres vivos (Uzcátegui, 2003).

El agua cruda proveniente de fuentes superficiales o subterráneas contiene una gran cantidad de partículas suspendidas y disueltas que le confieren turbidez, color, sabor y olor, haciendo que sea poco atractiva y desagradable, dichas impurezas deben ser removidas en el proceso de potabilización. Dicho proceso comprende una serie de etapas cuya finalidad es transformar el agua cruda en agua potable y esta debe cumplir con los requisitos establecidos en las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial, 1998). Por ello, el tratamiento de agua es de vital importancia, ya que por medio de este se remueven sustancias perjudiciales para la salud como los contaminantes biológicos (microorganismos o agentes patógenos).

Uno de los factores resultantes de la contaminación es la turbidez, debido a que refleja una aproximación del contenido de materia coloidal, mineral u orgánica (Espigares y Fernández, 1999). La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y presentan una remoción difícil, pues atraviesan cualquier filtro por más fino que sea.

En Venezuela, según la norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos el agua se clasifica en Tipo 1, Sub-tipo 1B, (Gaceta Oficial, 1995), las cuales son aguas que pueden ser acondicionadas por medio de un tratamiento convencional que contempla las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Para eliminar las partículas causantes de la turbidez, se recurre a las fases de coagulación y floculación. La finalidad de la etapa de coagulación, es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para facilitar su aglomeración. El sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, es el coagulante más usado en el tratamiento del agua debido a su bajo costo y manejo sencillo.

Al igual que el sulfato de aluminio también se encuentran otros coagulantes químicos para el tratamiento del agua como el sulfato ferroso ($FeSO_4$), el cual se utiliza generalmente con la cal (CaO) o junto con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. El sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$ está disponible comercialmente en forma granular de color marrón rojizo. A su vez, el cloruro férrico ($FeCl_3$), disponible en fase sólida y líquida, se genera por la oxidación del sulfato ferroso con cloro, es usado en tratamientos de aguas residuales e industriales (Campos, 2003).

La mayor parte del sulfato de aluminio se vende en forma líquida y el campo de aplicación más extendido es como coagulante para el tratamiento de aguas destinadas al consumo humano. La aplicación del producto es inmediata, a través de equipos dosificadores ubicados en los estanques de almacenamiento. Posteriormente, mediante procesos de mezcla y reacciones de hidrólisis se consigue precipitar el hidróxido metálico, después de los respectivos procesos de desestabilización coloidal y neutralización de cargas eléctricas. Los flósculos originados se eliminan en las sucesivas fases de decantación y filtración, resultando un agua clarificada.

Por otra parte, algunos estudios indican que la presencia de aluminio en el agua potable y en los alimentos son algunos de los agentes etiológicos causantes de las enfermedades mentales (Martyn *et al.*, 1997). Asimismo, Suay y Ballester (2002), indican que existe una asociación entre el aluminio y la enfermedad de Alzheimer, lo cual representa riesgos relativos para poblaciones con exposiciones a concentraciones de aluminio en el agua, mayores de 0,1mg/L.

La Enfermedad de Alzheimer se caracteriza por una declinación progresiva de la memoria, de las funciones de lenguaje y otras áreas de la cognición, asociado a conductas que afectan considerablemente el desenvolvimiento de un individuo en su medio familiar y social. Este tipo de demencia no es curable y produce un daño progresivo e irreversible del cerebro (Llibre y Gutiérrez, 2014).

Se han propuesto diversas causas como desencadenantes de la enfermedad, como los factores ambientales, la malnutrición, lesiones a nivel craneal y exposición al aluminio (debido a que este metal se considera neurotóxico). No se conoce por el momento la causa exacta de la enfermedad de Alzheimer, pero estudios la relacionan con existencia de antecedentes familiares (genéticos) factores de riesgos de enfermedades vasculares y síndrome metabólico, entre otros (Llibre y Gutiérrez, 2014).

En los últimos años, se ha prestado una mayor atención en la relación teórica entre la exposición del aluminio y la incidencia de la enfermedad de Alzheimer. Las evidencias corrientes no implican al aluminio como la primera causa de esta enfermedad. Sin embargo, hay un debate en la comunidad científica sobre si el aluminio participa activamente en la progresión de la enfermedad. Gran cantidad de estudios epidemiológicos han reportado un incremento de la enfermedad de Alzheimer en comunidades donde el agua potable es alta en aluminio (Lugo y Valdés, 2011).

Con relación a lo antes mencionado, se han realizado numerosas investigaciones en el área de coagulantes de origen natural, para así tratar de conseguir una sustitución parcial o total de los compuestos químicos para potabilizar las aguas.

Entre los estudios realizados recientemente, utilizando coagulantes naturales de la familia Cactaceae se tiene el uso de *Opuntia ficus-indica* (González *et al.*, 2009), *Hylocereuslemairei* (Caldera *et al.*, 2015), *Opuntiaawentiana* en forma cruda y desecada (Parra *et al.*, 2011; Fuentes *et al.*, 2015a; González *et al.*, 2015) y *Stenocereusgriseus* (Fuentes *et al.*, 2015b).

El cardón *S. griseus* (Haw.) Buxb. es una de las cactáceas que más abunda en Venezuela, denominado cardón dato, cardón guajiro o yosú. Es un cactus columnar que puede alcanzar hasta 11 m de altura, ha sido usado desde hace mucho tiempo por indígenas de la etnia Wayúu presentes en Colombia y Venezuela, para la construcción de viviendas. Los frutos y cladodios se emplean para consumo y la acumulación de tallos jóvenes para pastoreo de cabras y cercado de corrales. Con menos frecuencia estos tallos son también utilizados como juguetes y como floculante del cieno del agua de lluvia que llena los jagüeyes (Villalobos *et al.*, 2007).

El mucílago extraído de *S.griseus* ha demostrado ser efectivo para clarificar las aguas de baja turbiedad (Fuentes *et al.*, 2015b). Por esta razón, en este estudio se consideró relevante evaluar la efectividad de *S.griseus* (Haw.) Buxb. como coagulante en la clarificación de aguas altamente turbias.

Metodología

Preparación del agua sintética

Las muestras fueron preparadas a partir de agua del grifo tomada del Laboratorio (Núcleo Costa Oriental del Lago, Universidad del Zulia). Adicionalmente, se enturbió

el agua con una solución acuosa de arcilla (26% m/v), para así alcanzar los valores de turbidez deseados en esta investigación (200, 220, 240, 260, 280 y 300 UNT).

Preparación del coagulante *S.griseus* (Haw.) Buxb.

Inicialmente se recolectó *S.griseus* en un terreno ubicado en el sector H7 del municipio Cabimas, estado Zulia. Se tomaron aleatoriamente brazos de la planta que se encontraran en buen estado y se trasladaron hasta el laboratorio para la realización de los ensayos correspondientes.

Se eliminaron las espinas de la planta para un mejor agarre, se removió la corteza y la epidermis, seguidamente se extrajo el tejido parenquimatoso evitando tomar parte del cilindro sólido o protostela del cactus. El tejido fue sometido a un proceso de licuado por medio de un procesador de alimentos durante 10 segundos, la pasta obtenida se colocó en un vaso de precipitado y se agregó agua destilada hasta 100 mL, se agitó hasta obtener una mezcla con una concentración de 50% m/v. Posteriormente, se filtró con un colador de tela, con la finalidad de separar la parte fibrosa de la mezcla.

Adicionalmente, a partir del método de gravimetría se determinó la concentración real de la mezcla, la cual fue de 46,83 % m/v. Las dosis seleccionadas para ser aplicadas a las muestras de agua sintética fueron 937, 1405, 1873, 2342 y 2810 ppm.

Simulación del proceso de potabilización del agua

Una vez preparada la mezcla coagulante y el agua sintética, se procedió a la simulación del proceso de potabilización del agua a través de un Test de Jarras modelo JLTG (Leaching Test Digital). Esta prueba permite determinar las dosis efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, específicamente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente.

Para este ensayo se agregó 1 L de agua sintética en cada vaso de precipitado del equipo, se agregaron las dosis del coagulante *S.griseus* y se inició un mezclado rápido a 100 rpm por 1 minuto. Posteriormente, se agitó a 30 rpm por 20 minutos y luego se dejó sin ningún tipo de movimiento por 30 minutos (etapa de sedimentación). La prueba de jarras se realizó por triplicado para cada valor de turbidez y se determinaron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad según lo establecido en el Método Estándar (APHA-AWWA-WEF, 1998). Dichos parámetros se midieron antes y después de la fase de filtración. 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.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica del agua sintética

El agua de grifo utilizada se acondicionó con arcilla para obtener los valores de turbidez iniciales de 200, 230, 240, 260, 280 y 300 UNT. En la Tabla 1 se muestran los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua de sintética empleada para realizar los ensayos de simulación del proceso de potabilización.

Tabla 1. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos del agua sintética antes del proceso de potabilización.

Turbiedad (UNT)	Color (UC Pt-Co)	pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
200	160	7,00	28
220	160	6,90	32
240	180	7,00	32
260	180	7,20	30
280	200	7,10	28
300	220	7,10	28

Se observa que el pH se ubicó entre 6,9 y 7,2 cumpliendo con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable, las cuales exponen que el pH debe fluctuar entre 6,5 y 8,5 (Gaceta Oficial, 1998). Los valores de color se ubicaron entre 160 y 220 UC Pt-Co, para todas las muestras y la alcalinidad tuvo poca variación, osciló entre 28 y 32 mg CaCO₃/L. En este sentido, López *et al.*, (2015) reportaron una tendencia similar de los parámetros fisicoquímicos pH y alcalinidad de aguas sintéticas. Para turbiedades de 20 y 40 UNT, registraron un pH de 7,08 y 6,99; respectivamente. Mientras que la alcalinidad osciló entre 26 y 32 mg CaCO₃/L.

Parámetro turbidez

La efectividad de *S.griseus*(Haw.) Buxb. como coagulante natural para un valor de turbidez inicial de 200 UNT se observa en la Tabla 2. Los porcentajes de remoción de turbidez antes de la etapa de filtración variaron entre 84,46% y 93,37%, obteniendo una mayor remoción con una dosis de 1405 ppm (dosis óptima).No se observó un comportamiento regular del coagulante, la tendencia en la remoción de turbidez fue a aumentar y disminuir. La turbidez decantada se ubicó entre 13,26 y 31,08 UNT.

Tabla 2. Remoción de turbidez después de la adición del coagulante *S.griseus*(Haw.) Buxb. a muestras de agua con turbidez inicial de 200 UNT.

Dosis del coagulante (ppm)	Remoción de turbidez (%)	
	Sin filtrar	Filtrado
937	84,46	98,16
1405	93,37	98,63
1873	93,19	98,94
2342	92,63	98,96
2810	88,25	98,60

Después de filtrar, el porcentaje de remoción se ubicó entre 98,16% y 98,96%, los cuales equivalen a 3,68 y 2,08 UNT, respectivamente. Dichos valores son aceptables según lo establecido en la normativa (Gaceta Oficial, 1998).

Las remociones de turbidez obtenidas en este estudio son mayores a las reportadas por González *et al.*, (2012), quienes de igual manera utilizaron *S.griseus* (Haw.) Buxb. como coagulante en aguas de alta turbidez (100 – 200 UNT), los porcentajes de remoción fluctuaron entre 64,60% y 83,77% después de la filtración. Las dosis aplicadas variaron entre 953 y 1973 ppm.

Para una turbidez inicial de 220 UNT los porcentajes de remoción de turbidez variaron entre 94,46% y 96,78% antes de filtrar las muestras (Tabla 3). Se obtuvo una mayor remoción para la dosis de 937 ppm. Se observa una disminución progresiva de remoción de turbidez a medida que aumenta la dosis del coagulante. Es decir, en este caso se cumple que a menor dosis aplicada, mayor remoción de turbidez. Después de filtrar, la remoción de turbidez fue de 99,16%.

Tabla 3. Remoción de turbidez después de la adición del coagulante *S.griseus* (Haw.) Buxb. a muestras de agua con turbidez inicial de 220UNT.

Dosis del coagulante (ppm)	Remoción de turbidez (%)	
	Sin filtrar	Filtrado
937	96,78	99,16
1405	96,51	99,04
1873	96,21	99,18
2342	95,76	98,56
2810	94,46	98,93

Los valores de turbidez se ubicaron entre 12,19 y 7,08 UNT antes de filtrar y entre 1,80 y 3,17 UNT después de filtrar. Cumpliendo con lo exigido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial, 1998).

Los valores obtenidos fueron similares a los reportados por González *et al.*, (2009), quienes utilizaron una mezcla mucilaginoso de *O. ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez con valores entre 100 y 200 UNT, registraron porcentajes de remoción de turbidez entre 91,39 % y 96,02% antes de filtrar.

Para una turbidez inicial de 240 UNT (Tabla 4), los porcentajes de remoción de turbidez variaron entre 85,20% y 96,69%, antes de filtrar. Se obtuvo una dosis óptima de 1873 ppm con la cual se registró una turbiedad de 7,94 UNT antes de filtrar y de 6,7 UNT, después de filtrar.

Estos resultados son superiores a los reportados por Parra *et al.*, (2011), quienes evaluaron la clarificación de aguas de alta turbidez (100 - 200 UNT) empleando el mucílago de *O.wentiana* (Britton & Rose) (Cactaceae). Obtuvieron dosis óptimas de 600 y 700 ppm y porcentajes de remoción de turbidez entre 85,25% y 94,84%.

Tabla 4. Remoción de turbidez después de la adición del coagulante *S.griseus* (Haw.) Buxb. a muestras de agua con turbidez inicial de 240UNT.

Dosis del coagulante (ppm)	Remoción de turbidez (%)	
	Sin filtrar	Filtrado
937	85,20	99,00
1405	94,88	99,08
1873	96,69	99,22
2342	95,55	99,04
2810	89,89	99,28

Para una turbidez inicial de 260 UNT (Tabla 5) se observa que la dosis óptima se ubicó en 1873 ppm, los porcentajes de turbidez oscilaron entre 90,53% y 97,10% antes de filtrar. Después de filtrar, se alcanzó una remoción de turbiedad de 99,37 %, para la dosis óptima. La turbidez decantada osciló entre 7,54 y 24,62 UNT. Después de filtrar se ubicó entre 1,87 y 2,60 UNT.

Por su parte, Caldera *et al.*, (2015), obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez entre 69,7% y 92,1% para las dosis óptimas de la cactácea *Hylocereuslemairei* (Hook.) Britton & Rose. Las turbiedades iniciales fueron 120, 160 y 200 UNT. Comparando los resultados presentados anteriormente se aprecia una mayor remoción de turbidez por parte de *S.griseus* (Haw.) Buxb.

Tabla 5. Remoción de turbidez después de la adición del coagulante *S.griseus* (Haw.) Buxb. a muestras de agua con turbidez inicial de 260 UNT.

Dosis del coagulante (ppm)	Remoción de turbidez (%)	
	Sin filtrar	Filtrado
937	96,11	98,83
1405	95,78	99,35
1873	97,10	99,37
2342	94,98	99,04
2810	90,53	99,14

Para una turbidez inicial de 280 UNT (Tabla 6), se aprecian porcentajes de remoción de turbidez entre 74,05% y 97,10%, obteniendo una dosis óptima de 2342 ppm. Las unidades de turbidez se ubicaron entre 8,12 y 72,66 UNT. Se puede observar que a medida que aumenta la turbidez se requiere mayor dosis de coagulante para lograr una mayor remoción. Luego de la filtración, la remoción de turbidez se ubicó en 98,29% (4,79 UNT) para la dosis óptima.

Tabla 6. Remoción de turbidez después de la adición del coagulante *S.griseus*(Haw.) Buxb. a muestras de agua con turbidez inicial de 280UNT.

Dosis del coagulante (ppm)	Remoción de turbidez (%)	
	Sin filtrar	Filtrado
937	74,05	98,66
1405	85,14	98,98
1873	90,72	97,92
2342	97,10	98,29
2810	91,47	97,39

En la Tabla 7 se observa para una turbidez inicial de 300 UNT porcentajes de remoción de turbidez que variaron entre 84,46% y 93,19% (sin filtrar). No se observó un comportamiento regular del coagulante, se aprecia que al incrementarla dosis aumenta el porcentaje de remoción de turbidez, excepto en las dosis más altas (2342 y 2810 ppm). La mayor remoción antes de filtrar se logró con una dosis de 1873 ppm con la cual se obtuvo una turbiedad de 20,43 UNT, después de filtrar la turbidez se ubicó en 3,18 UNT.

La turbidez decantada estuvo comprendida entre 20,43 y 46,62 UNT. Luego de la fases de filtración se ubicó entre 3,12 y 5,52 UNT.

Tabla 7. Remoción de turbidez después de la adición del coagulante *S.griseus*(Haw.) Buxb. a muestras de agua con turbidez inicial de 300UNT.

Dosis del coagulante (ppm)	Remoción de turbidez (%)	
	Sin filtrar	Filtrado
937	84,46	98,16
1405	92,63	98,63
1873	93,19	98,94
2342	92,37	98,96
2810	88,25	98,60

En la Tabla 8 se muestran las dosis óptimas para cada valor de turbidez inicial y los porcentajes de remoción, antes y después de la fase de filtración. Después del tratamiento con el coagulante *S.griseus* (Haw.) Buxb. Los porcentajes de remoción variaron entre 93,19 % y 97,1 % representando entre 7,54 y 20,43 UNT, respectivamente. Después de la filtración, la remoción fluctuó entre 98,29 % y 99,37 % equivalente a 4,79 y 1,64 UNT, respectivamente. Los valores de turbidez obtenidos después de la fase de filtración cumplen con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela, las cuales establecen un máximo aceptable de 5 UNT (Gaceta Oficial, 1998).

Tabla 8. Dosis óptimas y porcentajes de remoción para cada valor de turbidez inicial.

Turbidez inicial (UNT)	Dosis óptima (ppm)	Turbidez antes de filtrar(UNT)	Remoción antes de filtrar (%)	Turbidez después de filtrar (UNT)	Remoción después de filtrar (%)
200	1405	13,26	93,37	2,74	98,63
220	937	7,08	96,78	1,85	99,16
240	1873	7,94	96,69	1,87	99,22
260	1873	7,54	97,10	1,64	99,37
280	2342	8,12	97,10	4,79	98,29
300	1873	20,43	93,19	3,18	98,94

Parámetro color

Antes del proceso de potabilización, las muestras de agua presentaron entre 160 y 220 UC Pt-Co. Los valores de color obtenidos, finalizadas las fases de sedimentación y filtración, demuestran que *S.griseus* (Haw.) Buxb. remueve eficientemente color al igual que la turbidez de las aguas. En la Tabla 9 se observan los porcentajes de remoción de color obtenidos al aplicar las dosis óptimas del coagulante. Dichos porcentajes de remoción se ubicaron entre 85,94 % y 87,96 % antes de la filtración y entre 90,63 %

y 94,44% después de la filtración. Las unidades de color oscilaron entre 21,67 y 26,67 UC Pt-Co, antes de la filtración y entre 10 y 18,33 UC Pt-Co, después de la filtración.

Las muestras de agua con turbiedad inicial de 200 a 260 UNT y color inicial de 160 a 180 UC Pt-Co, cumplen con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable (15 UC Pt-Co) (Gaceta Oficial, 1998), pues se registraron unidades de color entre 10 y 15 UC Pt-Co. Mientras que las muestras de agua con color inicial de 200 y 220 UC Pt-Co, no se ubicaron dentro de lo establecido en la normativa. Sin embargo, los porcentajes de remoción fueron superiores a 91,76 %.

Tabla 9. Valores de color, dosis óptimas del coagulante extraído de *S.griseus* (Haw.) Buxb.

Turbidez inicial (UNT)	Color inicial (UC Pt-Co)	Dosis óptima (ppm)	Remoción de color antes de filtrar	Remoción de color después de filtrar
			(%)	(%)
200	160	1405	85,94	91,41
220	160	937	85,94	90,63
240	180	1873	87,04	93,52
260	180	1873	87,96	94,44
280	200	2342	87,04	92,09
300	220	1873	87,88	91,67

Parámetro pH

Los valores de pH obtenidos antes y después de la filtración se ubicaron cercanos al neutro. Las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial, 1998) establecen un rango de pH entre 6,5 y 8,5. En la Tabla 10 se aprecia que los valores arrojados por las dosis óptimas de *S. griseus* cumplen con lo requerido por la normativa, ya que se registraron unidades de pH entre 7,01 y 7,18 antes de filtrar y entre 6,97 y 7,23 después de filtrar.

Tabla 10. Valores de pH, dosis óptimas del coagulante extraído de *S.griseus* (Haw.) Buxb.

Turbidez inicial	pH inicial	Dosis óptima (ppm)	pH antes de filtrar	pH antes de filtrar
200	6,95	1405	7,01	7,06
220	7,00	937	7,01	6,97
240	7,02	1873	7,02	7,06
260	7,16	1873	7,18	7,21
280	7,11	2342	7,11	7,23
300	7,07	1873	7,07	7,12

Parámetro alcalinidad

En la Tabla 11 se presentan los valores de alcalinidad antes y después de la fase de filtración. Los valores se ubicaron entre 29 y 37 mg CaCO₃/L antes de filtrar y entre 28 y 34 mg CaCO₃/L después de filtrar. El coagulante *S.griseus* (Haw.) Buxb. no alteró la alcalinidad de las aguas.

Tabla 11. Valores de alcalinidad para las dosis óptimas del coagulante extraído de *S.griseus* (Haw.) Buxb.

Turbidez inicial (UNT)	Alcalinidad inicial (mg CaCO ₃ /L)	Dosis óptima (ppm)	Alcalinidad antes de filtrar (mg CaCO ₃ /L)	Alcalinidad después de filtrar (mg CaCO ₃ /L)
200	33	1405	32	30
220	32	937	32	28
240	32	1873	32	32
260	32	1873	29	30
280	33	2342	33	34
300	36	1873	37	34

Las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial, 1998), no establecen parámetros de alcalinidad. Sin embargo, Doudelet (1981) menciona que no debe exceder de 140 mg CaCO₃/L. Asimismo, el Ministerio de la Protección Social, Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia presentan en la Resolución N° 2115 (2007), un valor de alcalinidad máximo de 200 mg CaCO₃/L para aguas destinadas al consumo humano. Tomando en cuenta estos parámetros, la alcalinidad obtenida en esta investigación fue baja con respecto a las fuentes señaladas.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran la efectividad de *S.griseus* (Haw.) Buxb. como coagulante natural para la clarificación de aguas altamente turbias. Al aplicar las dosis óptimas del coagulante se obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez entre 93,19 % y 97,10 % antes de la filtración y entre 98,29 % y 99,37 % después de la filtración. La turbidez residual se ubicó entre 4,79 y 1,64 UNT. La remoción de color estuvo comprendida entre 90,63 % y 94,44 % correspondiente a 10 y 18,33 UC Pt-Co, respectivamente. El pH se mantuvo en un rango de 6,97 a 7,23 unidades, mientras que la alcalinidad varió entre 28 y 34 mg CaCO₃/L. Por lo anteriormente descrito se concluye que los resultados obtenidos cumplen con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela.

Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el financiamiento de materiales y equipos requeridos en este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- APHA – AWWA – WEF. (1998). Standard Methods for the examination of the water and wastewater. 20th Edition.
- Caldera, Y., Morales, R., Hernández, E., Pirona, O., Fuentes, L. y Mendoza, I. (2015). *Hylocereuslemairei*: un coagulante natural para las aguas con alta turbidez. Memorias I Congreso de Ciencias Ambientales y V Jornadas del LIANCOL. en: <https://drive.google.com/file/d/oByyNdMehOuEb19nSldVREowUG8/view?pref=2&pli=1> p. 135-141
- Campos, I. (2003). Saneamiento Ambiental. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.p.p. 248
- Doudelet, A. (1981). Estudio de las aguas minerales. Geotermia. 4, 5-28.
- Fernández, A. y Du Mortier, C. (2005). Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. Solar SafeWater. 1, 11-26.
- Fuentes L., García H., Brito C., Mendoza I., González Y. y Caldera Y. (2015a). Eficacia de *Opuntia wentiana* (Britton&Rose) (Cactaceae) como coagulante para la clarificación de aguas con baja turbidez. Memorias I Congreso de Ciencias Ambientales y V Jornadas del LIANCOL. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/oByyNdMehOuEb19nSldVREowUG8/view?pref=2&pli=1> p. 106-112
- Fuentes, L., Jiménez, M., Maldonado, G., González, Y., Caldera, Y. y Mendoza I. (2015b). Potencial coagulante del mucílago desecado de *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb. (Cactaceae) en aguas con baja turbidez Memorias I Congreso de Ciencias Ambientales y V Jornadas del LIANCOL. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/oByyNdMehOuEb19nSldVREowUG8/view?pref=2&pli=1> p. 113-119
- Fuentes, L., Mendoza, I., López, A., Castro, M. y Urdaneta, C. (2011). Efectividad un coagulante extraído de *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. Revista Técnica Ingeniería Universidad del Zulia. 34(1), 48-56.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 36.395. (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Caracas, 13 de febrero. Venezuela.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5021. (1995). Extraordinaria. Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Caracas, 18 de diciembre. Venezuela.

Espigares, M. y Fernández, M. (1999). Guía para la calidad del agua potable. Vol 3. Control de calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. Organización Panamericana de la Salud.

González, Y., Fuentes, L., Mendoza, I., Riera, M., Velásquez, B. y Mosquera, J. (2015). Efectividad del desecado de *Opuntia wentiana* (Britton&Rose) como coagulante-floculante en la potabilización de aguas con alta turbidez. Memorias I Congreso de Ciencias Ambientales y V Jornadas del LIANCOL. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/oByyNdMehOueB19nSldVREowUG8/view?pref=2&pli=1p.149-156>

González, A., Rodríguez, Z. y Valera, K. (2012). Clarificación de aguas con alta turbidez empleando el mucílago de *Stenocereusgriseus* (Haw.) Buxb. Trabajo Especial de Grado. Programa de Ingeniería Civil. Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. 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 agua sintéticas con alta turbidez. Impacto Científico 4(2), 361-374.

Llibre, J. y Gutiérrez, R. (2014). Demencias y enfermedad de Alzheimer en América Latina y el Caribe. Revista Cubana de Salud Pública 40(3), 378-387.

López, A., Potella G. y González Y. (2015). Potencial coagulante de *Opuntia ficus-indica* en su forma de secada para la clarificación de aguas con baja turbidez. Memorias I Congreso de Ciencias Ambientales y V Jornadas del LIANCOL. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/oByyNdMehOueB19nSldVREowUG8/view?pref=2&pli=1p.191-196>

Lugo, H. y Valdés, R. (2011). La enfermedad del Alzheimer relacionada con la utilización de sulfato de aluminio en sistemas de potabilización. Disponible en: <http://hdl.handle.net/123456789/82>

Martyn, G., Rodríguez, F. y Vidal, R. (1997). Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Ediciones Díaz de Santos, S.A. España.

Resolución N° 2115 (2007). Ministerio del Ambiente, vivienda y desarrollo territorial de Colombia.

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.

Suay, L. y Ballester, F. (2002). Revisión de los estudios sobre exposición al aluminio y enfermedad de Alzheimer. Revista Especial de Salud Pública 76(6), 645-658.

Uzcátegui, R. (2003). Parámetros físico – químicos en la calidad del agua. EIP, cuarta sesión. Mérida, Venezuela.

Villalobos, S., Vargas, O. y Melo, S. (2007). Uso, manejo y conservación de “yosú”, *Stenocereusgriseus* (CACTACEAE), en la alta Guajira Colombiana. Acta Biológica Colombiana 12(1), 99-112.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

 **mpacto** *Científico*

Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago

Vol. 11. N°1 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en junio de 2016, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve