

Uso de un polímero natural (quitosano) como coagulante durante el tratamiento de agua para consumo

Use of a natural polymer (chitosan) as a coagulant during water treatment for consumption

Yim James Rodríguez Díaz¹

Guillermo Antonio De la Cruz Frías²

Walner Enrique López Mena³

Lineth Ricaurte Valdés⁴

María Lucía Morales Gutiérrez⁵

Universidad del Cesar, Colombia

RESUMEN

En los sistemas de tratamiento del agua para el consumo humano, el proceso unitario de coagulación-floculación es uno de los más importantes para eliminar altas cargas coloides. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia del quitosano como coagulante durante el tratamiento del agua cruda proveniente de la cuenca media del río Guatapurí; para tal fin se determinó la dosis óptima del polímero orgánico en aguas con turbidez inicial de 100 y 1500 NTU. Los resultados obtenidos después del proceso fueron: para el agua con turbidez de 1500 NTU y dosis óptima 40 mg/l, las remociones alcanzaron hasta el 99,9 % de la turbidez, mientras que para el agua con turbidez inicial de 100 NTU y dosis óptima de 20 mg/l la remoción arrojada fue superior al 96 %. En esta investigación se presenta al quitosano como una alternativa eficaz para el proceso de potabilización de aguas crudas en fuentes lóxicas.

Palabras clave: Agua cruda, Coagulación, Floculación, Quitosano, Turbidez.

ABSTRACT

In water treatment systems for human consumption, unified process of coagulation-flocculation is one of the most important to remove colloids' high loads. The aim of this investigation was to assess the effectiveness of chitosan as a coagulant for the treatment of raw water from the middle basin of river Guatapurí; for this purpose the optimum dose of the organic polymer was determined in water with starting turbidity of 100 to 1500 NTU. The results obtained after processing were: for water with turbidity 1500 NTU and optimal dose 40 mg/l, the removals achieved until 99.9 % turbidity, while for water with initial turbidity of 100 NTU and optimum dosage of 20 mg/l thrown removal it was over 96 %. This research presents the chitosan as an effective process for the purification of raw water in lotic alternative sources.

Key words: Raw water, Coagulation, Flocculation, Chitosan, Turbidity.

1. Ingeniero del Medioambiente, Magíster en Ingeniería Ambiental. Profesor Asociado y Director del Semillero de Investigación SIIAS de la Universidad Popular del Cesar, Colombia. yimrodriguez@unicesar.edu.co

2. Ingeniero Químico, Magíster en Enseñanza de la Química. Profesor Asociado de la Universidad Popular del Cesar, Colombia. gdelacruz1963@yahoo.es

3. Ingeniero Sanitario y Ambiental, Especialista en Saneamiento Ambiental. Profesor Asistente de la Universidad Popular del Cesar, Colombia. walnerlopez@unicesar.edu.co

4. Ingeniera Ambiental y Sanitaria. Miembro del Semillero de Investigación SIIAS de la Universidad Popular del Cesar, Colombia. linethricaurve@gmail.com

5. Ingeniera Ambiental y Sanitaria. Miembro del Semillero de Investigación SIIAS de la Universidad Popular del Cesar, Colombia. marialuciamoralesg@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas naturales contienen sólidos de diversos tamaños de origen mineral (arena, arcillas, entre otros) u orgánico (producto de la descomposición de plantas y animales). Los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez y el color del agua y causan problemas durante su potabilización [1]. Las materias en suspensión pueden tener un tamaño y densidad tal que pueden eliminarse del agua por simple sedimentación, pero algunas partículas son de un tamaño tan pequeño y tienen una carga eléctrica superficial, que las hace repelerse continuamente, impidiendo su aglomeración y la formación de una partícula más pesada para poder así sedimentar [2].

En función de lo señalado, los agentes coagulantes son usados convencionalmente en la potabilización de las aguas crudas para el consumo humano. El sulfato de aluminio o alumbre es el agente coagulante más ampliamente usado en las plantas de tratamiento debido a su probada efectividad y bajo costo. Sin embargo, algunos estudios han reportado que el aluminio podría inducir enfermedades neurológicas, tales como el mal de Alzheimer, síndromes de demencia y disminución de la capacidad motora y mental [3, 4]. Por este motivo, es necesario desarrollar investigaciones que apunten a buscar coagulantes que no produzcan aluminio residual y que puedan ser tan eficaces como los usados de manera convencional.

Como se evidencia en algunos estudios por [1, 5, 6] los resultados indican que existe un coagulante de origen natural, conocido como quitosano, que podría ser una alternativa viable para el tratamiento de agua para el consumo humano, dado que no produce grandes sedimentos, no origina aluminio residual y es un material biodegradable compatible con el medioambiente. Este polisacárido de amplia distribución en la naturaleza, con alto peso molecular, se obtiene fundamentalmente mediante desacetilación de la quitina (N-acetilglucosamina) presente en los exoesqueletos de artrópodos y zooplancton marino, en la pared celular de algunas familias de hongos y levaduras; así como, en las alas y cutículas de algunas especies de insectos. El quitosano es insoluble en agua pero soluble en soluciones ácidas, comportándose en este medio como un polielectrolito catiónico [6, 7]. El objetivo central de esta investigación fue evaluar la eficacia del quitosano como coagulante orgánico en el tratamiento de aguas naturales con alta y baja turbidez, resultados que serán expuestos en este artículo.

2. METODOLOGÍA

Origen del agua cruda

El agua empleada como muestra para la investigación se tomó en los perfiles *Creager* de las plantas de tratamiento de agua potable denominadas: La Gota Fría y Huaricha de la empresa de servicios públicos del municipio de Valledupar, Cesar, Colombia. Ubicado en la costa Atlántica, con una población de 413.341 habitantes, a una altitud de 169 m, con una temperatura promedio de 27°C y una precipitación anual de 936 mm [8].

Caracterización del agua cruda

Las muestras aleatorias simples fueron tomadas teniendo en cuenta las fluctuaciones de las precipitaciones locales así: temporadas secas (enero a marzo) y lluviosas (abril, mayo, junio y octubre), siendo almacenadas en recipientes plásticos de 20 litros, conservadas a 4°C y transportadas al laboratorio de mecánica de fluidos de la Universidad Popular del Cesar, en donde se midieron parámetros fisicoquímicos iniciales, aplicando el método estándar [9], como: turbidez (2130-B), sólidos suspendidos totales (SST) (2540-D), temperatura (directo 2550), color (SM 2120C), pH (4500-H+), y alcalinidad total (2320-B).

Preparación de la solución coagulante

Se trabajó con quitosano comercial Sigma Chemical Co. (QC). La solución coagulante se obtuvo disolviendo el QC en ácido acético al 5 %, preparando soluciones coagulantes al 1,0 %. Se empleó el rango de concentraciones que según las pruebas preliminares arrojaran los mejores resultados.

Evaluación de la eficacia del quitosano posterior a la simulación del proceso de coagulación, floculación y sedimentación

El montaje del proceso a escala laboratorio se llevó a cabo inicialmente para encontrar el rango en que el coagulante es efectivo. La turbidez promedio inicial del agua fue de 100 y 1500 NTU. Para simular el proceso se usó el equipo Prueba de Jarra modelo F6-300 E&Q del laboratorio de mecánica de fluidos de la Universidad Popular del Cesar, donde se aplicaron ensayos exploratorios. El rango de trabajo de la concentración del coagulante fue de 5 a 100 mg/l. Para realizar las pruebas se agregó 1 litro de agua cruda a cada uno de los seis vasos de precipitado de 1000 ml, posteriormente se adicionaron las diferentes dosis del coagulante, iniciando el mezclado rápido a 120 rpm por 1 min. Para la mezcla lenta, el equipo de prueba se ajustó a 40 rpm por 30 min, garantizando el crecimiento del *floc*. Finalmente, las jarras se dejaron en reposo por 30 minutos para la sedimentación. Una vez terminado dicho proceso, se procedió a tomar una alícuota de 280 ml por debajo de la superficie del líquido de cada vaso de precipitado, para la determinación de los parámetros fisicoquímicos: turbidez y pH.

Como paso seguido, luego del proceso arriba descrito, se determinó un rango de trabajo de concentración de coagulante más pequeño. Para ello se tuvieron en cuenta los datos de la mayor remoción de la turbidez presentada en el proceso previo. En cuanto a los ensayos, las corridas realizadas en el experimento se hicieron mediante tres repeticiones para así conocer la dosis óptima definitiva que permitiría obtener la máxima remoción de turbidez. La investigación se condujo mediante un diseño completamente al azar, con un total de dos tratamientos con quitosano comercial y sulfato de aluminio, con tres repeticiones cada uno. Los parámetros fisicoquímicos turbidez y pH se determinaron siguiendo las metodologías mencionadas por triplicado. Los valores obtenidos se sometieron a un análisis estadístico descriptivo, calculando: la media, la mediana y la desviación estándar, con la finalidad de evaluar la reproducibilidad de los resultados. También se realizó correlación a nivel de significancia 0,05 entre los parámetros de cada tratamiento, empleando el programa estadístico comercial SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). En el ítem de resultados y discusión se presentan los valores promedios de las muestras simples de la caracterización de las aguas crudas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del agua cruda

Las características fisicoquímicas del agua cruda se presentan en la Tabla 1. Estos valores fueron comparados con los valores máximos permisibles para agua de consumo humano establecidos según la Resolución 2115 de 2007 en Colombia.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del agua cruda

Parámetros	Unidad de medida	Valor promedio		Valor máximo para consumo (Resolución 2115 de 2007)
Turbidez	NTU	100	1500	2
pH	-----	7,49	7,40	6,5-9,0
SST	(mg/l)	266,66	1063,33	NA
Color	(UPC)	28,60	35,20	15
Alcalinidad	mg/L de CaCO ₃	38,00	52,00	200

SST: Sólidos suspendidos totales, pH: Potencial de hidrógeno, NA: No aplica
Fuente: Elaboración de los autores

Las aguas del río Guatapurí se caracterizaron por presentar valores promedio de pH de 7,40 y 7,49 unidades para turbiedades de 1500 y 100 NTU respectivamente; dichos valores se consideran aceptables si se compara con la normativa vigente en Colombia de calidad de agua para consumo humano. Por el contrario, los valores de turbiedad se encuentran muy lejos de los rangos relacionados por la precitada norma; así mismo, el agua cruda del río Guatapurí presentó un valor promedio de alcalinidad total de 38 mg/l de CaCO₃ para la muestra de 100 NTU, y 52 mg/l de CaCO₃ para la muestra 1500 NTU, cumpliendo con el valor máximo permisible de 200 mg/l de CaCO₃ consignado en la norma a la cual se viene haciendo alusión. Por último, el color del agua cruda del río Guatapurí para nuestras muestras, supera el límite máximo permisible del reglamento sanitario mencionado, en más de un 90 %. En resumen, la caracterización fisicoquímica mostró que los parámetros turbidez y color no cumplieron con los valores de referencia según la normativa colombiana de agua para consumo humano. Es por ello, que dicha fuente debe ser sometida a un tratamiento para la remoción de estos parámetros, que son determinantes para el consumo del fluido.

Determinación de la dosis óptima

Durante ensayos preliminares se determinaron los rangos que optimizan el uso de los coagulantes quitosano comercial (Qc) y sulfato de aluminio (Al₂(SO₄)₃); para la turbidez de 100 NTU el rango estuvo entre 5 y 35 mg/l para ambos coagulantes, siendo 20 y 25 mg/l respectivamente las dosis de mejor comportamiento como se puede observar en la Figura 1, que el tratamiento con sulfato de aluminio ocasiona un descenso del pH en todas sus dosificaciones (10-35 mg/l) fluctuando entre 4,9 y 6,3. Para el coagulante quitosano comercial también se observa un descenso leve del pH en las dosis de 10,15, 20, 25 y 30 mg/l fluctuando desde 6,7 hasta 7,4.

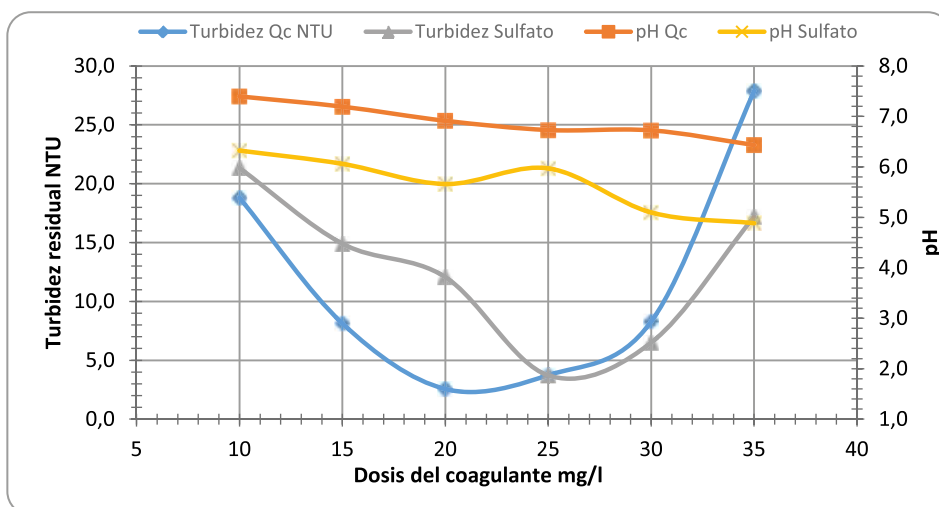


Figura 1. Comportamiento de la turbidez y el pH para turbidez inicial de 100 NTU, durante el tratamiento con quitosano (Qc) y sulfato de aluminio

Fuente: Elaboración de los autores

La Figura 2, muestra que para 1500 NTU el rango del coagulante estuvo entre 35 y 65 mg/l para el (Qc) y de 65 y 90 mg/L para el sulfato de aluminio; se determinaron como las mejores dosis 40 y 65 mg/l respectivamente durante las repeticiones en el tratamiento del agua cruda. El comportamiento es el mismo para los dos tratamientos mostrando que con sulfato de aluminio se produce un descenso del pH en todas sus dosificaciones de 65 a 95 mg/l fluctuando entre 5,9 y 6,4. En el tratamiento con el coagulante quitosano comercial también se observa un descenso ligero del pH en todas las dosis oscilando entre 6,7 y 7,1 unidades.

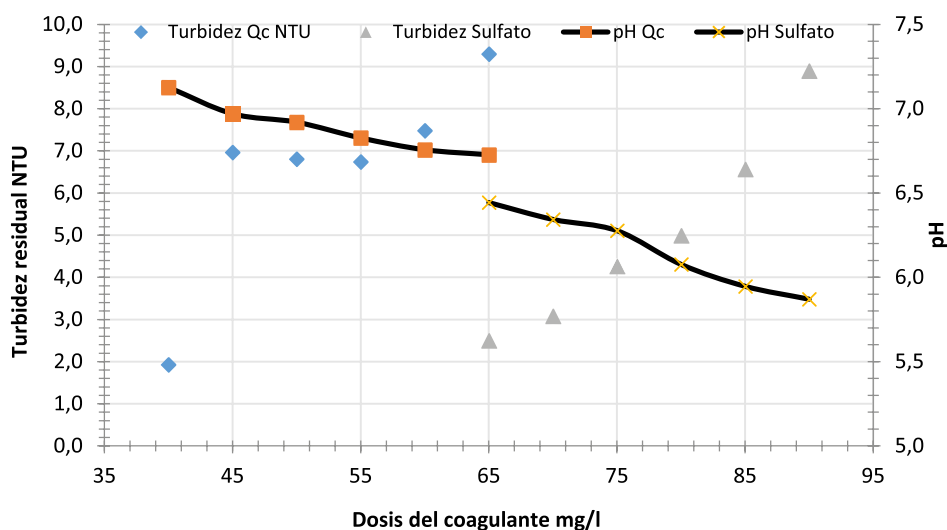


Figura 2. Comportamiento de la turbidez y el pH para turbidez inicial de 1500 NTU, durante el tratamiento con quitosano (Qc) y sulfato de aluminio

Fuente: Elaboración de los autores

Comparación de la eficacia de los coagulantes durante el tratamiento del agua cruda

El comportamiento de los coagulantes fue similar si se compara el remanente de turbidez (ver Tabla 2) donde tanto el quitosano como el sulfato de aluminio la reducen hasta alcanzar valores remanentes de 2,6 NTU para dosis óptima de 20 mg/l en el quitosano y de 3,7 NTU para dosis óptima de 25 mg/l en el sulfato de aluminio, en la muestra con turbidez inicial de 100 NTU. Se observó también que la dosis óptima del sulfato de aluminio (25 mg/l) redujo hasta 6,0 el pH del agua lo que obliga al uso de sustancias alcalinas como carbonato de calcio (CaCO_3), hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), hidróxido de sodio (NaOH) para neutralizar el pH antes de enviarlo a las redes de distribución, dado que el valor mínimo de pH es de 6,5 unidades para agua de consumo humano [10]. Resultados parecidos fueron obtenidos [11], con una dosis óptima de 20 ppm disminuyendo de manera lenta el pH de 7,25 inicial, hasta 7,08; esto se puede explicar, puesto que tras la adición de cloruro de hierro (FeCl_3) se forman especies hidróxidas inestables, liberando iones H^+ . En el coagulante quitosano comercial también se observa un descenso leve del pH hasta 6,9 cuando se aplica la dosis óptima de 20 mg/l estando dentro del rango normado.

Tabla 2. Comportamiento de los parámetros turbidez y pH a distintas concentraciones de los coagulantes quitosano y sulfato de aluminio

Tratamiento	Turbidez inicial (NTU)	Dosis (mg/l)	Turbidez NTU	pH
Quitosano	100	20	2,6	6,9
Sulfato	100	25	3,7	6,0
Quitosano	1500	40	1,9	7,1
Sulfato	1500	65	2,5	6,4

Fuente: Elaboración de los autores

En igual sentido cuando se analiza la turbidez de 1500 NTU, la dosis óptima para quitosano (40 mg/l) alcanza una turbidez promedio residual de 1,9 NTU y un pH de 7,1, cumpliendo con la norma colombiana para agua de consumo humano, que para turbidez y pH el mínimo es de 2 NTU y 6,5, lo que favorecería el proceso unitario de filtración. En atención al sulfato de aluminio, la dosis óptima (65 mg/l) no logra cumplir con la norma en los parámetros dados, ya que alcanza una turbidez residual de 2,5 y un pH de 6,4 respectivamente.

En la Tabla 3 se observa la remoción de la turbidez teniendo en cuenta la dosis óptima en los tratamientos para agua cruda con turbidez inicial de 100 y 1500 NTU, obteniendo valores residuales de sólidos suspendidos totales menores a 7 mg/l y remociones de turbidez que superan el 96 % para aguas con turbidez de 100 NTU; así mismo, los porcentajes de remoción para turbidez de 1500 NTU alcanzaron remociones del 99 % para los tratamientos, demostrándose que ambos coagulantes son eficaces para remover turbidez en el agua cruda. Es de precisar que en el caso del quitosano, se usa un menor volumen de la solución coagulante. Resultados similares a los encontrados en esta investigación [1], señalan remociones de turbidez entre 98,22 y 99,63 % en el tratamiento de agua para consumo humano; por otra parte [12], se consiguieron porcentajes de remoción que oscilaron entre 85,25 y 94,84 % antes de la filtración y después de la filtración fue de 91,82 y 98,34 %, respectivamente. Así mismo se

logró disminuir la turbidez de 75 y 150 NTU a valores de 14,9 y 8,4 NTU [13], el comportamiento de la remoción fluctuó entre 80,1 y 94,3 % ensayando moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua cruda. En ese mismo sentido otros investigadores [14], muestran la efectividad de los coagulantes orgánicos e inorgánicos en la remoción de la turbidez del agua del río Magdalena logrando con alumbre (99,80 %); siendo la remoción con *Opuntia* menor (93,25 %).

Tabla 3. Porcentaje de remoción de turbidez y comportamiento sólidos suspendidos totales a distintas concentraciones de los coagulantes quitosano y sulfato de aluminio

Tratamiento	Turbidez inicial (NTU)	Dosis (mg/l)	Turbidez (%)	SST (mg/l)
Quitosano	100	20	97,4	6,9
Sulfato	100	25	96,3	1,6
Quitosano	1500	40	99,9	5,7
Sulfato	1500	65	99,8	3,3

Fuente: Elaboración de los autores

El análisis estadístico aplicado para comparar la eficacia de los coagulantes en nuestra investigación, determinó que los dos tratamientos evaluados en las aguas crudas tratadas con turbidez de 100 y 1500 NTU presentaron diferencias significativas en la remoción de la turbidez y sólidos suspendidos totales.

4. CONCLUSIONES

El quitosano es un coagulante eficaz para el tratamiento de agua para consumo humano con turbidez de 100 y 1500 NTU, dado que presenta resultados de remoción para turbidez que superan el 96 %, además como coagulante natural presenta las características suficientes puesto que es no-tóxico y biodegradable, además interacciona con contaminantes incluyendo partículas y sustancias disueltas; su uso podría sustituir las sales inorgánicas y polímeros sintéticos en el tratamiento de aguas crudas para el consumo humano.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Fuentes, W. Contreras, R. Perozo, I. Mendoza, Z. Villegas, "Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano". Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Costa Oriental del Lago (LIANCOL). Universidad del Zulia, Cabimas, Estado Zulia, Venezuela, 2008.
- [2] Y. Acosta. "Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación", *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)*, vol. XL, no. 2, pp. 10-17, 2006.
- [3] T. Okuda, W. Baes, W. Nishijima, M. Okada, "Isolation y caracterization of coagulant extracted from Moringa oleifera seed by salt solution", *Water Research*, vol. 35, pp. 405-410, 2001.

- [4] A. Ndabigengesere, S. Narasiah, B. Talbot, "Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using Moringa oleifera seed". *Water Research*, vol. 29, pp. 703-710, 1995.
- [5] W. Contreras, y R. Perozo, "Eficiencia del quitosano obtenido del *Litopenaeus schmitti* como coagulante en la potabilización de agua", Trabajo especial de grado, Universidad del Zulia, Cabimas, Estado Zulia, Venezuela, 2007.
- [6] O. Cartaya, C. Peniche, I. Reynaldo, "Polímeros naturales recolectores de iones metálicos". *Iberoamericana de polímeros*, vol. 10, no. 2, pp. 81-94, 2009.
- [7] N. Ríos, R. Navarro, M. Ávila, y E. Mendizábal, "Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita", *Iberoamericana de Polímeros*, vol. 7, no. 3, pp. 145-161, 2006.
- [8] Documento electrónico: Gobernación del Cesar (2013). Plan de gestión del riesgo departamento del Cesar. Recuperado de <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/pnud/Descarga.aspx?id=75>
- [9] L. Clesceri, A. Greenberg and A. Eaton, APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition, USA, 1998.
- [10] Ministerio de la Protección Social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución N° 2115*. Bogotá: El Ministerio, 2007.
- [11] D. Balanta, C. Grande, F. Zuluaga, Extracción, "Identificación y caracterización de quitosano del micelio de *aspergillus niger* y sus aplicaciones como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas". *Revista Iberoamericana de Polímeros*, vol. 11, no. 5, 2010.
- [12] Y. Parra, Cedeño, M. García, I. Mendoza, Y. Gonzales, L. Fuentes, "Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose)/(Cactaceae)". Universidad del Zulia, Estado Zulia, Venezuela, 2011.
- [13] Y. Caldera, I. Mendoza, L. Briceño, J. García, L. Fuentes, "Eficiencia de las semillas de moringa oleifera como coagulante alternativo en la potabilización del agua". *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 41, pp. 244-254, 2007. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
- [14] R. Olivero, I. Mercado, L. Montes, "Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*". *Producción + Limpia*, vol. 8, no. 1, pp. 19-27, 2013.