

Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano

Lorena Fuentes¹, Wilmer Contreras¹, Roberto Perozo¹, Iván Mendoza¹
y Zaith Villegas²

¹Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago, Dpto. de Ciencias Naturales, Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Costa Oriental del Lago (LIANCOL), Cabimas, Venezuela. ²Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Dpto. de Biología, Maracaibo, Venezuela. E-mail: lfuentesp@hotmail.com; wilmer_contreras@hotmail.com; robperozo69@hotmail.com; ivnmendoza@yahoo.es; zaithvillegas@hotmail.com

Resumen

Los sólidos suspendidos son responsables de la turbidez y color del agua, causando problemas durante su potabilización. Algunos de estos sólidos se separan mediante sedimentación, pero los más pequeños deben removerse mediante coagulación-floculación. Convencionalmente, el sulfato de aluminio es el coagulante más utilizado, sin embargo, pone en riesgo la salud pública, ya que parece favorecer el desarrollo del mal de Alzheimer. Considerando las desventajas del sulfato de aluminio, se han estudiado coagulantes naturales que puedan sustituirlo, por ejemplo el quitosano. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano. Se recolectaron muestras de agua en una planta de tratamiento del estado Zulia (Venezuela), y a partir de éstas se prepararon aguas crudas sintéticas con turbiedades iniciales de 50, 60, 70, 80 y 90 NTU. Estas aguas fueron caracterizadas físicoquímicamente y tratadas con quitosano (6, 12, 18, 24 y 30 ppm). Una vez simuladas la coagulación-floculación y la sedimentación, se evaluaron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad antes y después de la filtración. Se repitió este procedimiento usando sulfato de aluminio. Las dosis óptimas de quitosano (6 ó 12 ppm) fueron mucho más bajas que las de la sal de aluminio (30 ppm). Al aplicar el quitosano se obtuvieron valores de turbidez, alcalinidad y color aceptables, oscilando los porcentajes de remoción de turbidez entre 98,22 y 99,63%. Los resultados indican que el quitosano constituye una alternativa como coagulante en la potabilización del agua.

Palabras clave: Quitosano, coagulación, floculación, agua potable, *Litopenaeus schmitti*.

Use of Chitosan Obtained of *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) in the Treatment of Drinking Water

Abstract

The suspended solids are responsible of the color and turbidity of water, causing problems during purification. Some of these solids are separated by sedimentation, but the smallest have to be removed by coagulation-flocculation. Conventionally, the aluminum sulphate is the most used coagulant; nevertheless, it places at risk public health since it appears to help the Alzheimer disease development. Considering the aluminum sulphate disadvantages natural coagulants that can substitute it, such as the chitosan, have been studied. This research has the objective of evaluating chitosan's efficiency obtained from *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) as coagulant in water treatment for human consumption. Water samples were collected at a treatment plant in the state of Zulia (Venezuela), and from there synthetic crude waters were prepared with initial turbidness of 50, 60, 70, 80 and 90 NTU. These waters were physical-chemically characterized and treated with chitosan (6, 12, 18, 24 and 30 ppm). Once the coagulation-flocculation and sedimentation were simulated, turbidity, color, pH and alkalinity parameters were evaluated before and after the filtration. This procedure was repeated using aluminum sulphate. The optimum doses of chitosan (6 or 12 ppm) were much lower than those of aluminum salt (30 ppm). In general, when applying chitosan there were obtained acceptable turbidity, alkalinity and color values, oscillating the turbidity removal percentages between 98,22 and 99,63%. Results show that the chitosan constitutes an alternative as coagulant in water purification.

Key words: Chitosan, coagulation, flocculation, potable water, *Litopenaeus schmitti*.

Introducción

Las aguas naturales contienen sólidos de diversos tamaños [25] de origen mineral (arena, arcillas, entre otros) u orgánico (producto de la descomposición de plantas y animales); además de estos compuestos, en las aguas naturales también se pueden encontrar bacterias, plancton, algas y virus.

Los sólidos suspendidos son los responsables de la turbidez y el color del agua [5] y causan problemas durante su potabilización [7]. Algunos de estos sólidos se separan mediante sedimentación, pero los más pequeños (coloides) no sedimentan rápidamente, por lo que deben ser removidos [25].

Para separar los coloides del agua se utiliza generalmente un tratamiento llamado coagulación-floculación [1, 24]. La coagulación consiste en agregar al agua una sustancia (coagulante) capaz de neutralizar la carga eléctrica

superficial del coloide, mientras que la floculación es la agrupación de las partículas descargadas para formar un aglomerado llamado flóculo, cuyo tamaño y densidad permiten su precipitación [27, 9].

Existe un amplio rango de coagulantes inorgánicos que pueden ser usados para el tratamiento de las aguas, siendo los más comunes el sulfato férrico, el sulfato de aluminio y el cloruro férrico [12]. Convencionalmente, los coagulantes que contienen aluminio son los más utilizados, debido a su fácil manejo y obtención, así como a su bajo costo. Sin embargo, el empleo de sales de aluminio tiene varios inconvenientes: se producen grandes cantidades de sedimento [28], ocurre reacción con la alcalinidad natural presente en el agua y la eficiencia de la coagulación disminuye en aguas frías [21]. Además, los altos niveles de aluminio remanentes en las aguas tratadas ponen en riesgo la salud pública, ya que parecen favorecer el desarrollo del mal de Alzheimer [28]. Se han reportado desventajas similares

para las sales de hierro y para coagulantes orgánicos como los polímeros sintéticos [21]. Los coagulantes naturales constituirían una alternativa para sustituir las sales de hierro o aluminio y los polímeros orgánicos sintéticos, pues usualmente son más seguros para la salud [4].

Algunos coagulantes naturales que han sido eficientes para remover la turbidez en aguas son el exudado gomoso del árbol *Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth. (Fabaceae) [10], la corteza del cardón lefaria *Cereus deficiens* OTTO & DIERT (Cactaceae) [17] y las semillas de *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) [18, 19, 20, 22, 4].

Otro producto natural utilizado como coagulante es el quitosano, β -(1,4)-2-amino-2-deoxi-D-glucosa. Este polímero puede ser obtenido por desacetilación a partir de la quitina presente en la concha del camarón *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaeidae) [14], no es tóxico y es biodegradable [13].

El quitosano y sus derivados han sido efectivos en el tratamiento de agua con altos contenidos de ácidos húmicos [3], en la remoción de turbidez de suspensiones de partículas coloidales como látex y caolinita [11] y para remover aceite de pescado, metales y surfactantes [15].

En Venezuela, el empleo del quitosano como coagulante-floculante podría permitir un mejor uso de la gran cantidad de desechos generados por la actividad pesquera en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, ya que de los camarones recolectados en esta zona se aprovecha aproximadamente el 47% del peso bruto, correspondiendo el 53% restante a cabezas y conchas, las cuales suelen desecharse [16]. Este planteamiento es de gran relevancia, especialmente si se considera que en los últimos años, el agua que llega a la planta de potabilización Pueblo Viejo (encargada de tratar las aguas que consumen los habitantes de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo), ha presentado valores de turbidez de hasta 150 NTU, haciendo necesario su tratamiento para poder cumplir con las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas [4, 8].

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la eficiencia de quitosano obtenido de la concha del camarón *L. schmitti*, como un coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano.

Metodología

Recolección de *Litopenaeus schmitti*

Se recolectaron desechos (cabezas, conchas, patas y colas) de *L. schmitti*, los cuales fueron suministrados por la procesadora de camarones PROMAVEN (Municipio

Santa Rita, estado Zulia). Posteriormente, estos desechos se trasladaron al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia (LIANCOL).

Obtención del coagulante

Los desechos de camarones se limpiaron manualmente, extrayendo únicamente las conchas, las cuales fueron lavadas con abundante agua y se secaron con ventilación mecánica a temperatura ambiente. Para la obtención del coagulante (quitosano) se modificó una metodología reportada previamente [23], desarrollándose las siguientes fases:

Desproteínización. Se pulverizaron las conchas secas con un procesador de alimentos doméstico y se colocaron 40 g del polvo en un vaso de 0 precipitado, al cual se añadió 200 mL de NaOH (0,5% m/v). La mezcla se calentó a 60°C durante 30 minutos agitándola vigorosamente y, una vez fría, se filtró descartándose el líquido. El sólido se lavó tres veces con agua destilada y se secó en una estufa a 32°C.

El sólido seco se pesó y se distribuyó equitativamente en tres tubos de ensayo, agregándosele NaOH (3% m/v) en una relación de 1:5. Posteriormente, la mezcla se calentó por 10 min. Se realizó una decantación y se le adicionó al sólido obtenido hidróxido de sodio a la concentración y proporción señaladas anteriormente. Esto se repitió dos veces más para cada muestra contenida en los tubos. Luego de filtrar, el sólido se lavó con agua destilada hasta eliminar el NaOH.

Decoloración. Durante 30 min el residuo sólido lavado se agitó vigorosamente en un vaso de precipitado con 200 mL de cloro comercial (NaClO) para eliminar los pigmentos de la concha del camarón. La mezcla se decantó y la fase sólida se lavó con agua destilada.

Desmineralización. Al sólido obtenido en la etapa anterior se le añadió 200 mL de HCl (1,25 N) en una campana de extracción de vapor, agitando la mezcla vigorosamente hasta conseguir la expulsión de todo el CO₂. El sólido fue lavado, decantado y secado en una estufa a 32°C, obteniéndose la quitina, la cual se pesó para calcular el rendimiento.

Desacetilación. La quitina se distribuyó a partes iguales en tubos de ensayo y se le adicionó NaOH (50% m/v) en una relación 1:8. Se calentaron los tubos en baño de María a 100°C por 30 minutos. Se filtró la mezcla para lavar con agua destilada el sólido remanente (quitosano).

Simulación de la coagulación-floculación, sedimentación y filtración

Se recolectaron muestras de agua en la torre toma de la planta de tratamiento Pueblo Viejo (Municipio Valmore

Rodríguez, estado Zulia). Las muestras se ajustaron a los valores de turbidez inicial requeridos para el estudio (50, 60, 70, 80 y 90 NTU) y se caracterizaron en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas (pH, turbidez, alcalinidad y color).

Para la simulación se usó un test de jarro (JLTG Leaching test digital) y se llenaron con agua cruda sintética seis vasos de precipitado de 1L de capacidad. Se emplearon dosis de 0, 6, 12, 18, 24 y 30 ppm de quitosano a 0,6 % en ácido acético. Se simularon las etapas de mezcla rápida (100 rpm/1 min), mezcla lenta (30 rpm/20 min) y sedimentación (30 min/0 rpm). Los ensayos se realizaron a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Al finalizar la sedimentación, se tomó una alícuota del sobrenadante de cada muestra para determinar algunos parámetros físicoquímicos (turbidez, pH, alcalinidad y color). Este procedimiento se hizo por triplicado antes de la filtración y después de ésta, la cual se simuló en embudos de vidrio con papel de filtro grado cualitativo.

Para la medición de la turbidez, el pH y el color se emplearon un turbidímetro digital (Digital-Scientific), un potenciómetro (Microprocessor pHmetro BT-500, marca Boeco Germany) y un colorímetro (Orbeco Hellige), respectivamente. La alcalinidad se determinó por titulación con H_2SO_4 (0,02 N), utilizando el indicador anaranjado de metilo [2].

Se repitió la metodología descrita para simular los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y filtración, pero usando como coagulante sulfato de aluminio en lugar de quitosano.

Resultados y Discusión

Al caracterizar fisicoquímicamente las aguas crudas sintéticas antes de simular el proceso de coagulación-floculación, se observó que la mayoría de las muestras presentaron un pH aceptable (6,41-6,91), pues según las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas [8], este parámetro debe oscilar entre 6,5 y 8,5 unidades. La alcalinidad también resultó aceptable, ya que se registraron valores de 27,3 a 30,7 mg de CaCO_3/L y la normativa establece un máximo de 140 mg CaCO_3/L . Los resultados obtenidos para el color (43,3-93,3 UC) superaron los de las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas [8], de acuerdo con las cuales el mayor valor permitido es 15 UC.

Antes de la filtración de las muestras de agua tratadas con quitosano, se observó que la turbidez tendió a aumentar a medida que la dosis del coagulante era mayor. Esto se regis-

tró con todas las turbiedades iniciales (50-90 NTU), para cada una de las cuales al usar la máxima dosis de quitosano (30 ppm), se incrementó la turbidez con respecto al control; lo mismo ocurrió con la dosis de 24 ppm, excepto en el caso de 90 NTU. El resto de las dosis aplicadas causó una disminución de la turbidez para las turbiedades en estudio (Tabla 1). Con las turbiedades iniciales de 50, 70 y 80 NTU la dosis óptima de quitosano fue 6 ppm, lográndose remover la turbidez a 9,84; 9,16 y 8,41 NTU, respectivamente. Para 60 y 90 NTU la dosis óptima fue 12 ppm, disminuyéndose la turbidez a 7,71 y 9,76 NTU, respectivamente.

Después del proceso de filtración, las turbiedades correspondientes a las dosis óptimas fueron 0,89; 0,25; 0,83; 0,85 y 0,33 NTU para 50, 60, 70, 80 y 90 NTU, respectivamente. Por tanto, se cumple con lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas [8], según las cuales la turbidez máxima aceptable es 5 NTU.

Los porcentajes de remoción de turbidez después de aplicar las dosis de quitosano fueron bastante elevados, oscilando antes de filtrar entre 80,32 y 89,49% y después de la filtración entre 98,22 y 99,63%. Estos valores son superiores a los reportados al usar coagulantes naturales como el cardón lefaria (70-80%) [17] y el quitosano (90%) [6]. Al evaluar la eficiencia de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante para la potabilización de aguas sintéticas con una turbidez de 75 y 150 NTU, se obtuvieron porcentajes de remoción mayores de 97% [4].

Los resultados del presente estudio indican que el quitosano constituye una alternativa como coagulante para minimizar la turbidez en las aguas crudas sintéticas utilizadas.

El quitosano se ha empleado para eliminar partículas de caolinita en un intervalo de pH de 5 a 9, con una turbidez inicial de 10 hasta 160 NTU, encontrándose que la concentración óptima del coagulante fue de 1 mg/L a un pH de 7,5; en este caso se logró remover la caolinita en un 90% [6]. También se ha aplicado el quitosano para el tratamiento de suspensiones de bentonita, obteniendo resultados muy favorables de remoción, usando cantidades muy pequeñas del coagulante (pH 5-9), con producción de flóculos grandes y estables de sedimentación rápida [26].

Al simular la coagulación-floculación con el coagulante convencional para la potabilización de las aguas, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, se determinó que para todos los valores de turbidez inicial estudiados (50-90 NTU), 30 ppm resultó ser la dosis óptima. Después de la filtración, la turbidez registrada con esta dosis se ajustó a lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas

Tabla 1. Turbidez de aguas crudas sintéticas tratadas con quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti*.

Turbidez inicial (NTU)	Dosis de quitosano (ppm)	Turbidez (NTU)	
		Antes de la filtración	Después de la filtración
50	0	48,70	30,89
	6	9,84	0,89
	12	33,73	0,46
	18	37,43	0,73
	24	55,00	6,73
	30	55,43	10,65
60	0	56,87	40,70
	6	7,78	0,63
	12	7,71	0,25
	18	19,70	0,73
	24	66,37	4,43
	30	66,40	8,07
70	0	75,37	49,43
	6	9,16	0,83
	12	10,47	0,20
	18	20,17	0,55
	24	78,00	6,23
	30	76,63	23,00
80	0	74,57	42,9
	6	8,41	0,85
	12	9,70	0,54
	18	11,70	0,22
	24	76,40	3,01
	30	78,50	7,85
90	0	86,57	39,40
	6	10,54	0,76
	12	9,76	0,33
	18	13,00	0,36
	24	20,63	0,49
	30	89,93	4,06

[8]. No obstante, la dosis referida es superior a las establecidas para el quitosano (6 y 12ppm).

Una vez aplicado el quitosano a las muestras de aguas crudas sintéticas, se obtuvieron valores de alcalinidad aceptables según las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas [8], las cuales establecen un máximo de 140mg CaCO₃/L. Cabe destacar que antes de añadir el coagulante natural, la alcalinidad de las aguas crudas sintéticas estuvo dentro de los valores permitidos. Después de la adición del quitosano hubo poca variación en este parámetro

antes de la filtración (18,67-33,33 mgCaCO₃/L) y luego de la misma (18,67-28,67 mgCaCO₃/L).

Para las aguas crudas sintéticas tratadas con el quitosano, el pH fluctuó entre 6,06 y 7,09 antes de la filtración. Se observó que en la mayoría de los casos este parámetro estuvo dentro del rango exigido por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas (6,5-8,5) [8], excepto cuando se usó 24 ppm para una turbidez inicial de 50 y 70 NTU obteniéndose valores de pH menores a 6,5. Con esta última turbidez se registró un resultado similar al apli-

car una dosis de quitosano de 18 ppm. Para una turbidez inicial de 60 NTU, se presentaron valores de pH inferiores a 6,5 con todas las dosis de coagulante. Después de simular el proceso de filtración, el pH varió entre 6,18 y 7,00 unidades. En general, para turbiedades de 50, 60 y 70 NTU, este parámetro se incrementó con respecto a los valores obtenidos para las muestras antes de filtrarlas; con las turbiedades iniciales de 80 y 90 NTU ocurrió lo contrario. Para la turbidez de 70 NTU, todos los valores de pH se ajustaron a lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable Venezolanas [8] cuando se aplicaron diferentes dosis del coagulante natural, lo cual no sucedió con las demás turbiedades iniciales.

El color de las muestras de agua tratadas con quitosano osciló entre 17,5 y 100 UC antes de la filtración, variando entre 0 y 15,83 UC después de simular este proceso. Con excepción de este último valor, los restantes cumplieron con lo establecido en la normativa (0-15UC). Al comparar estos resultados con los de las aguas crudas sintéticas, se evidencia la efectividad del quitosano en la remoción del color del agua.

Conclusión

El quitosano proveniente de la concha del *L. schmitti* es un coagulante efectivo en el proceso de coagulación-floculación del agua proveniente de la planta de tratamiento Pueblo Viejo.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES), a la Hidrológica del Lago, al Licenciado Juan Parra y a la empresa Procesadora Marina de Venezuela (PROMAVEN).

Referencias

- [1] AMIRTHARAJAH, A.; O'MELIA, C. (1990). **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies/American works association**. 4^o Edition, Editorial McGraw Hill. USA. pp. 278-302.
- [2] APHA-AWWA-WEF. (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 20th Edition. Edited by: Clesceri, L., Greenberg, A. and Eaton A., USA.
- [3] BRATSKAYA S.; SCHWARZ, S.; CHERVONETSKY, D. (2004). Comparative study of humic acids floculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate. **Water Research** 38: 2955-2961.
- [4] CALDERA, Y.; MENDOZA, I.; BRICEÑO, L.; GARCÍA, J.; FUENTES, L. (2007). Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua. **Bol. del Centro de Invest. Biológ.** 41: 244-254.
- [5] CASTILLO, J.; BRACHO, N.; VARGAS, L.; ROMERO N.; ALDANA, G. (2000). Coagulant selection for water treatment process in plant "C" Maracaibo, Venezuela. **Rev. Téc. Fac. Ing. Univ. del Zulia** 23: 169-178.
- [6] DIVAKARAN, R.; SIVASANKARA, V. (2001). Flocculation of kaolinite suspensions in water by chitosan. **Water Research** 35: 3904-3908.
- [7] FRANCESCHI, M.; GIROU, A.; CARRO-DIAZ, A.; MAURETTE, M.; PUEECH-COSTES, E. (2002). Optimization of the coagulation-flocculation process of raw water by optical design method. **Water Research**. 36: 3561-3575.
- [8] **GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA. (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Nº 36.395 del 13 de febrero de 1998, p. 5.**
- [9] GAO, B.; HAHN, H.; HOFFMANN, E. (2002). Evaluation of aluminum-silicate polymer composite as a coagulant for water treatment. **Water Research** 36: 3573-3581.
- [10] GONZÁLEZ, G.; CHÁVEZ, M.; MEJÍAS, D.; MAS Y RUBÍ, M.; FERNÁNDEZ, N.; LEÓN DE PINTO, G. (2006). Uso del exudado gomoso producido por *Samanea saman* en la potabilización de las aguas. **Rev. Téc. Fac. Ing. Univ. del Zulia** 29: 14-22.
- [11] HOCKING, M.; KLIMCHUK, J. (1999). Macromolec. Sci.-Reviews in Macromolecular Chemistry and Physics **39**: 177-203.
- [12] JIANG, J; LLOYD, B. (2002). Progress in the development and use of ferrate (VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment. **Water Research** 36: 1397-1408.
- [13] KHOR, E. (2001). Chitin fulfilling a biomaterials promise, Elsevier. Amsterdam, 73-100.
- [14] LÁREZ, C. (2003). Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. **Revista Iberoamericana de Polímeros** 4: 91-109.
- [15] LÁREZ, C.; LOZADA, L.; MILLAN, E. (2003). La densidad de carga de polielectrolitos y su capacidad de neutralización en sistemas coloidales. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales** 23: 16-20.
- [16] MÁRMOL Z.; GUTIÉRREZ, E.; PÁEZ, G.; FERRER, J; RINCÓN, M. (2004). Desacetilación termoalcalina de quitina de conchas de camarón. **Multiciencias** 4: 1-10
- [17] MARTÍNEZ, D.; CHÁVEZ, M.; DÍAZ, A.; CHACÍN, E.; FERNÁNDEZ, N. (2003). Eficiencia del Cactus lefiaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. **Rev. Téc. Fac. Ing. Univ. del Zulia** 26: 27-33.

- [18] MENDOZA, I.; FERNÁNDEZ, N.; ETTIENE, G.; DÍAZ, A. (2000). Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas. **Ciencia** 8: 243-254.
- [19] MUYIBI, S.; EVISON, L. (1999). Flocc settling characteristic of turbid water coagulated with *Moringa oleifera* seeds. **J. Environ. Studies**. 56: 483-495.
- [20] MUYIBI, S.; NOOR, M.; LEONG, T.; LOON, L. (2002). Effects of oil extraction from *Moringa oleifera* seeds on coagulation of turbid water. **J. Environ. Studies** 59: 243-254.
- [21] NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, S.; TALBOT, B. (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using *Moringa oleifera* seed. **Water Research** 29: 703-710.
- [22] OKUDA, T.; BAES, W.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. (2001). Isolation y characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research** 35: 405-410.
- [23] PARADA, L.; CRESPI, G.; MIRANDA, R.; KATIME, I. (2004) Caracterización de quitosano por viscosimetría capilar y valoración potenciométrica. **Revista Iberoamericana de Polímeros** 5: 1-16.
- [24] RIGOLA, M. (1999). **Tratamiento de aguas industriales**. Editorial Alfaomega. Colombia, pp. 40-49.
- [25] ROMERO, J. (1999). **Calidad del agua**. Editorial Alfaomega. México. pp. 167-179.
- [26] ROUSSY, J.; VAN VOOREN, M.; GUIBAL, J. (2004). **Dispersion Science and Technology** 25: 663-677.
- [27] RUSHTON, A.; WARD, A.; HOLDICH, R. (2000). **Solid-liquid filtration and separation technology**. Editorial Wiley-VCH. Alemania pp. 182-190.
- [28] STAUBER, J.; FLORENCE, L.; DAVIES, C.; ADAMS, M.; BUCHANAN, S. (1999). Bioavailability of alin alum treatment drinking water. **J. American Water Works Assoc.** 91: 84-93.
-