

Uso potencial del exudado gomoso de *Cedrela odorata* como agente coagulante para el tratamiento de las aguas destinadas a consumo humano

*Potential use of exudates gum of **Cedrela odorata** as coagulating agent for treatment of human consumption water*

DONALDO GABRIEL MEJÍAS¹,
MAGALY CHÁVEZ DELGADO²,
MARIELBA MAS Y RUBI³,
ELSA CHACÍN RAMOS³
y NOLA FERNÁNDEZ ACOSTA³

1 Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, Programa de Ingeniería y Tecnología, Proyecto de Ingeniería de Gas, Cabimas, Venezuela

2 Universidad Autónoma de Barcelona, Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Bellaterra, Barcelona, España

3 Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Maracaibo, Venezuela,
E-mail: donaldo.mejias@gmail.com

Recibido: 15-01-10 / Aceptado: 29-10-10

Resumen

Con el propósito de evaluar el uso potencial del exudado gomoso producido por *Cedrela odorata*, como agente coagulante en el proceso de potabilización del agua cruda se realizaron pruebas sobre la eficiencia de remoción en los parámetros de calidad organoléptica, siguiendo la metodología estandarizada. Se preparó un agua turbia sintética, con valores de turbiedad semejantes a los observados en las aguas crudas naturales (inferiores a 100 UNT) empleando caolina como ingrediente principal. La cantidad de 20 mg/L del exudado gomoso de *C. odorata* se considerada como la dosis óptima debido a que fue suficiente para alcanzar un valor de turbiedad remanente inferior al 20 %, color (5 UCV) y NMP (2 NMP/100 mL). Las variaciones observadas para la alcalinidad total y el pH se mantuvieron dentro de los valores esperados (300 mgCaCO₃/L y 6,3, respectivamente). Esto sugiere que el uso del exudado gomoso como agente coagulante no requiere la adición de sustancias amortiguadoras para mantener el equilibrio de carbonatos en el agua tratada. Los resultados obtenidos en los parámetros organolépticos en el agua tratada con el exudado gomoso se ajustaron a los estándares establecidos en la normativa vigente para garantizar su consumo por seres humanos, con lo cual puede ser empleado como sustancia de uso alternativo en la potabilización del agua.

Palabras clave: exudados gomosos, *Cedrela odorata*, coagulantes orgánicos, potabilización, calidad del agua.

Abstract

In order to evaluate the potential use of the gum exudate produced by *Cedrela odorata*, as coagulating agent in the treatment process of raw water tests were performed on the removal efficiency in the organoleptic quality parameters, following the standardized methodology. Prepared a synthetic turbid water with turbidity values similar to those observed in natural raw waters (less than 100 UNT) using kaolin as the main ingredient. The amount of 20 mg/L of exudate gum from *C. odorata* is considered the optimal dose because it was sufficient to achieve a turbidity value of less than 20% remaining, color (5 UCV) and NMP (2 NMP/100mL). The variations observed for total alkalinity and pH were within expected values (300 mg CaCO₃ /L and 6.3, respectively). This suggests that the use of gummy exudates as coagulating agent does not require the addition of buffer substances to maintain the balance of carbonates in the treated water. The results obtained in the sensory parameters in treated water with gum exudate were adjusted to the standards established in existing legislation to ensure its consumption by humans, which can be used as an alternative substance use in water purification.

Key words: Exudate gum, *Cedrela odorata*, potabilization, organic coagulant, water quality.

1. Introducción

La capacidad de nuestras sociedades para garantizar el suministro de agua apta para el consumo humano, depende en gran medida de la implementación de sistemas eficaces de potabilización y saneamiento, como principales medios capaces de proporcionar protección contra las enfermedades transmitidas por el agua, sometiéndola a diferentes sistemas de tratamiento, como la clarificación, desinfección, acondicionamiento químico y organoléptico (Unesco, 2003).

La clarificación es una de las etapas más importantes de la potabilización e incluye el proceso de coagulación-floculación, mediante el cual las partículas presentes en el agua sin tratamiento en contacto con sustancias químicas (agentes coagulantes), se aglomeran formando pequeñas masas que presentan un peso específico mayor, estas partículas sedimentan y ocurre la remoción de los diversos materiales en suspensión, lo que permite que el agua alcance las características idóneas para el consumo humano (Arboleda, 2000).

Las sales de aluminio son las sustancias químicas más ampliamente utilizadas en la potabilización como coagulantes de uso convencional; durante este proceso se produce aluminio residual, el cual en concentraciones elevadas se traduce en el deterioro de la salud de los seres humanos, así como en problemas en las líneas de distribución del agua. En algunos estudios se ha determinado que las concentraciones de aluminio residual en el agua tratada exceden el 40-50% en relación a las concentraciones iniciales de 0,01-2,37 mg/L en el agua cruda, cuando sales de aluminio son usadas en el proceso de coagulación (Stauber, 1999).

Los problemas de distribución del agua tratada asociados con las elevadas concentraciones de aluminio, incluyen la formación de precipitados de aluminio hidratado en el sistema de distribución, lo cual incrementa la turbidez en lugar de reducirla, la interferencia de la desinfección ocasionada por la adherencia de microorganismos a los flóculos de aluminio y la deposición de los productos de la hidrólisis del aluminio en las paredes de las tuberías, lo cual disminuye la capacidad de transporte acortando así su vida útil (Letterman y Driscoll, 1988).

Las concentraciones elevadas de aluminio en el agua potable pueden ser responsables de ciertas anomalías en la salud humana, sugiriendo una

relación entre el consumo del aluminio y los desórdenes neuropatológicos, como la enfermedad de Alzheimer y demencia presenil (Letterman y Driscoll, 1988).

La fuerte asociación entre el uso de las sales de aluminio en los sistemas de distribución del agua y los problemas de salud es evidente, por lo que la cantidad de aluminio residual presente en el agua potable debe ser regulada. En nuestro país, la normativa sanitaria de calidad del agua potable vigente desde el año 1998 establece como concentración permisible 0,1 mg/L (0,2 mg/L máximo de excepción) (Cuadro 1) (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

Es de gran interés la posibilidad de sustituir las sales de aluminio por sustancias naturales para emplearlas como agentes coagulantes naturales que resulten inocuos, económicos y ambientalmente más favorables que los coagulantes químicos, especialmente para disminuir el impacto en seres vivos y los problemas en el tratamiento de aguas (Ndabigengesere *et al.*, 1995).

Muchas sustancias naturales han sido usadas en la coagulación del agua de manera artesanal en países tropicales en vías de desarrollo, por ejemplo los subproductos de origen vegetal (cáscaras, cortezas y gomas). Los exudados gomosos, conocidos como gomas, son polímeros solubles en agua (hidrocoloides), producidos en respuesta a lesiones practicadas en la corteza de los árboles que crecen en ambientes tropicales y sub-tropicales (Kawamura, 1991). Estos componentes naturales han mostrado propiedades clarificadoras, por lo cual son considerados como sustancias coagulantes naturales eficientes y económicas con un elevado potencial de sustitución a las sustancias químicas (Al Azharia, 1988).

En esta investigación se evalúa el exudado gomoso derivado de *Cedrela odorata*, como agente coagulante natural, con el principal objetivo de establecer su capacidad de coagulación y desinfección en el tratamiento de aguas en nuestra región.

2. Materiales y métodos

2.1 Solución coagulante

Los exudados gomosos fueron obtenidos mediante la realización de cortes tangenciales en diferentes

Cuadro 1. Comparación de resultados de exudados gomosos con la normativa vigente (Gaceta Oficial de Venezuela N° 36395, 1998).

Características	Valor máximo aceptable ^a	Valor de Cedrela (dosis óptima: 20 mg/L)
Color (UCV) ^b	15 (25)	5
Turbiedad (UNT) ^c	5 (10)	1
pH ^d	6,5 – 8,5	7,6
Coliformes totales (NMP/100 mL) ^e	< 2	< 2
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	< 2	< 2
Aluminio (mg/L)	0,1 (0,2)	

^a Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales plenamente justificados ante la autoridad sanitaria; ^b: UCV: Unidades de color verdadero; ^c UNT: Unidades nefelométricas de turbiedad; ^d Rango de pH aceptable; ^e NMP/100mL: Índice de número más probable.

zonas de la corteza del árbol *C. odorata*, localizada en el Municipio Maracaibo (estado Zulia, Venezuela) y almacenados a una temperatura de 35 °C durante 3 días. El exudado gomoso fue procesado en un molino de rotación eléctrico (Grinding 4E) aplicando una velocidad de 89 rpm, hasta obtener un polvo muy fino, el cual se pasó a través de un tamizador mecánico (Thomas Scientific J-IR), usando una serie de tamices de medidas ASTM con mallas de 710 y 600 µm. Posteriormente, se prepararon las dosis del producto pulverizado 10, 20, 50, 100, 250 y 500 mg/L en agua destilada y la solución resultante fue pasada a través de una membrana de nitrato de celulosa (poro de 45 µm) (Ndabigengese-re *et al.*, 1995).

2.2 Agua Turbia Sintética

El Agua Turbia Sintética (ATS) fue preparada mediante la adición de 10 g de caolina en 1 L de agua corriente. Esta suspensión fue agitada en forma continua por una hora para lograr una dispersión uniforme de las partículas de caolina y se estableció un periodo de 24 horas para la hidratación completa de estas partículas (Okuda *et al.*, 2001a; Okuda *et al.*, 2001b). Posteriormente, se tomaron 13 mL de muestra y se diluyeron en 500 mL de agua corriente, hasta alcanzar un valor de 100 UNT, luego se efectuaron sucesivas diluciones, hasta obtener valores prefijados de turbiedad de 10, 15, 25, 50 y 100 UNT, los cuales fueron verificados en un turbidímetro (Orbeco-Hellige).

2.3 Inóculo

Las soluciones de ATS fueron inoculadas con una alícuota de cultivo microbiano, con el propósito de evaluar la capacidad de remoción de los microorganismos por parte del agente coagulante en estudio. El inóculo microbiano utilizado fue un cultivo puro de *Escherichia coli* (código CAZ-085), facilitado por el Cepario “Anibal Zaidenberg” (Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias, LUZ). El inóculo presentó un índice inicial de Número Más Probable (NMP) de 220 de coliformes fecales y 350 NMP/100 mL coliformes totales, determinados de acuerdo con el método estandarizado para la examinación del agua y el agua de desechos (Clesceri *et al.*, 1998).

2.4 Dosis óptima

La simulación del proceso coagulación-floculación fue realizada mediante la prueba de jarras para la selección de la dosis óptima del coagulante, en una serie de 6 vasos de precipitado conteniendo 1 L de ATS en las dosis seleccionadas (10-500 mg/L), se añadió 10 mL de solución coagulante y se realizó la mezcla inicial para asegurar la presencia del agente coagulante en la columna vertical del ATS y de inmediato se procedió a una mezcla rápida para la captación de una muestra, con la cual se determinaron las condiciones operacionales iniciales de turbiedad, color verdadero, alcalinidad total, pH y NMP, posteriormente se añadió una alícuota de

cultivo puro de *E. coli* (0,5 mL) y se comenzó con la fase de mezclado.

Las fases de mezcla rápida (100 rpm, 1 min) y mezcla lenta (30 rpm, 30 minutos) fueron aplicadas ininterrumpidamente y luego los vasos de precipitado (jarras) se mantuvieron en reposo y sin perturbaciones durante 60 minutos, correspondiéndose con la fase de sedimentación.

Al término de la fase final (sedimentación) se colectó otra muestra del sobrenadante estabilizado de cada jarra, para la determinación de la dosis óptima en función de la menor cantidad de agente coagulante necesaria para alcanzar la más alta remoción obtenida de acuerdo con los parámetros operacionales determinados (Clesceri *et al.*, 1998; Muyibi y Evison, 1995).

3. Resultados y discusión

3.1 Turbiedad

El comportamiento del exudado gomoso de *C. odorata* utilizado como agente coagulante para la remoción de los diferentes niveles de turbiedad aplicados al agua turbia sintética se presenta en la figura 1(a). Se observa una tendencia general hacia el aumento de la turbiedad remanente en relación directa con el incremento de la dosis aplicada del agente coagulante para todos los niveles de turbiedad aplicados.

Con la dosis de 10 mg/L de la goma se logra la reducción de la turbiedad inicial hasta valores de 2-4,5 UNT. La cantidad de 20 mg/L del exudado gomoso de *C. odorata* alcanza niveles de turbiedad de 2-5 UNT para todos los niveles de turbiedad inicial aplicados al agua turbia sintética, desde 10 hasta 100 UNT; estos resultados son menores al valor máximo aceptable (5 UNT) según la normativa venezolana para el agua potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998). La dosis de 20 mg/L no muestra diferencias significativas para los valores de turbiedad de 10-100 UNT, mientras que al compararla con las dosis restantes de la goma se observan diferencias significativas, lo cual permite la selección de la dosis óptima del exudado gomoso de *C. odorata*, en cuanto a este parámetro evaluado.

Las dosis restantes de la goma, 50-500 mg/L, arrojan niveles de turbiedad superiores a 5 UNT (valor máximo aceptable), desde 3 hasta 59,7 UNT,

los cuales exceden los criterios de calidad para el agua potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998). Este aumento en la turbiedad puede explicarse por la reinversión del flóculo, lo cual consiste en la regeneración del coloide, en consecuencia, no se produce una buena coagulación (Arboleda, 2000).

3.2 Color

La dosis aplicada del exudado gomoso de *C. odorata* de 10 y 20 mg/L produjo un color final de 5 UCV, para todos los niveles de turbiedad iniciales aplicados (10-100 UNT) como puede apreciarse en la figura 1(b). Los valores con respecto al color del agua después del proceso de coagulación-floculación no presentan diferencias significativas y se consideran aceptables, de acuerdo con la normativa venezolana para el agua potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998). Como consecuencia, la utilización del exudado gomoso de *Cedrela* no aporta una reducción importante del color. Las dosis superiores (50-500 mg/L) logran la reducción del color hasta 25 UNT, sin embargo, a partir de 50 UNT la reducción del color en el agua turbia sintética no es eficiente y no alcanza los estándares de calidad exigidos por la normativa venezolana (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

3.3 Potencial de hidrógeno

La aplicación del exudado gomoso de *C. odorata* como agente coagulante no conduce a la alteración del pH del agua turbia sintética en esta investigación. Como se observa en la figura 1(c), el pH osciló entre 6,5 y 7,0 para todas las dosis de la goma aplicadas (10-500 mg/L) y todos los niveles de turbiedad empleados (10-100 UNT). Este resultado confirma el uso de estas sustancias naturales como agentes coagulantes confiables que no alteran el valor del pH a niveles que produzcan daños en las redes de distribución del agua potable, puesto que este parámetro se encuentra entre 6,5-8,5 como valor deseable menor, y un nivel máximo de 9,0, en la normativa venezolana para el agua potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

Es interesante, señalar que el uso de los exudados gomosos como agentes coagulantes no requiere la aplicación de alguna otra sustancia que regule la concentración de los iones hidrógeno en el agua potable, puesto que con la dosis óptima de los exu-

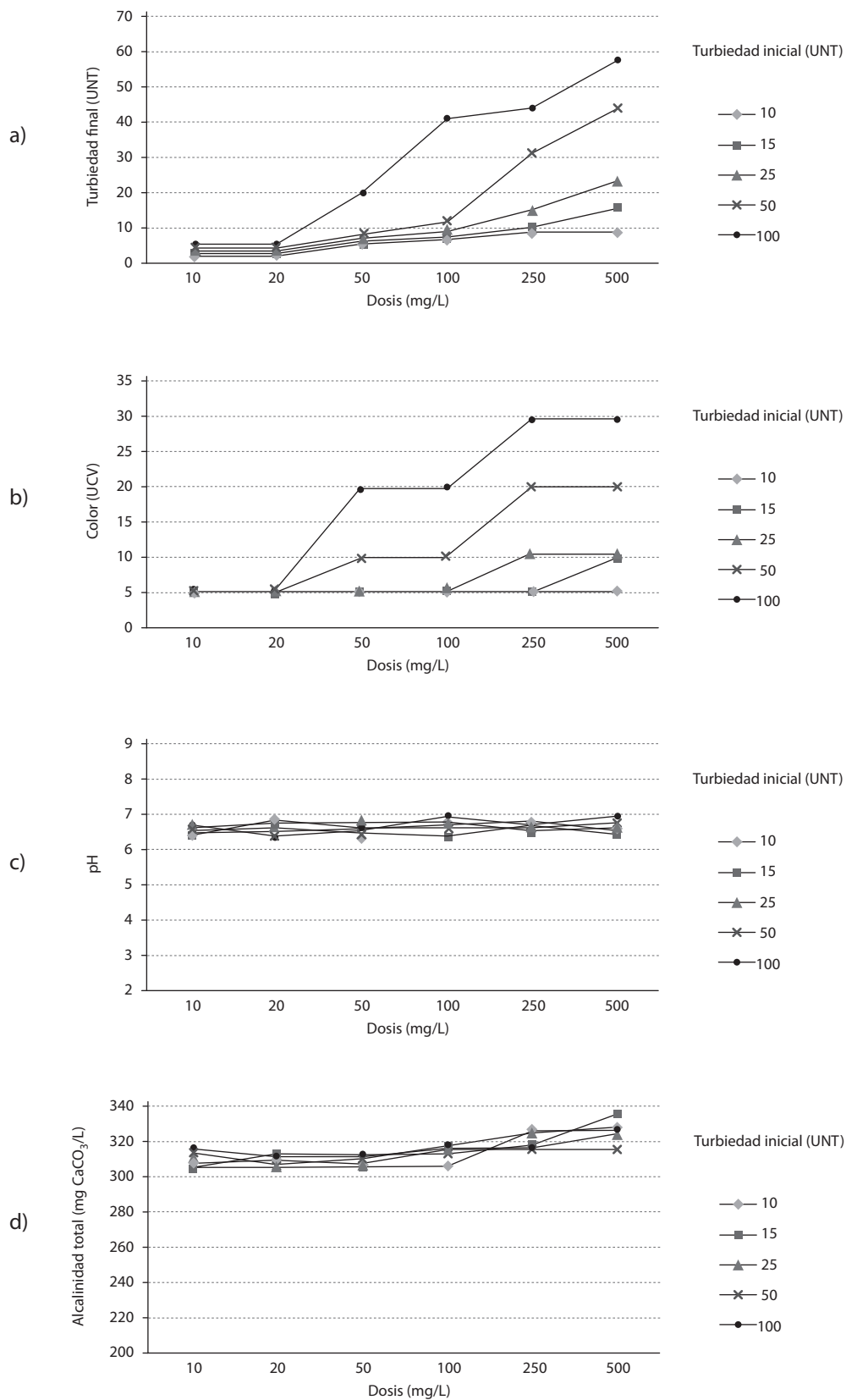


Figura 1. Parámetros organolépticos (a: turbiedad; b: color; c: pH; d: alcalinidad total) obtenidos durante la aplicación del exudado gomoso de *Cedrela odorata*.

dados gomosos se alcanzan valores de pH que se mantienen constantes entre 6 y 7 unidades; demostrando así la eficiencia de las gomas como coagulantes primarios. La utilización de una sustancia que no altera la química del agua es conveniente, puesto que la carga superficial negativa de la caolina, compuesto principal en el agua turbia sintética, y la dispersión coloidal hacen que la coagulación sea efectiva y rápida dentro de la zona óptima de pH, causando la desestabilización de las partículas y la formación del flóculo (Arboleda, 2000).

3.4 Alcalinidad total

En la figura 1(d), se muestra que las diferentes dosis aplicadas del exudado gomoso de *C. odorata* conducen a pocas variaciones en la alcalinidad total, para los valores de turbiedad fijados en esta investigación de 10-100 UNT. Se registró un valor mínimo de 300 y un máximo de 330 mg CaCO₃/L, sin variaciones significativas con respecto a la dosis de la goma y al nivel de turbiedad aplicado.

Los resultados de esta investigación con *Cedrela* se encuentran por debajo del criterio establecido en la normativa venezolana para las aguas de consumo humano, con un valor máximo de 400 mgCaCO₃/L (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998), por lo cual se considera que esta goma aporta a la alcalinidad, los iones necesarios para la amortiguación o regulación necesaria para mantener el nivel del pH en el rango aceptable para las aguas potables, tal como lo han explicado Muyibi y Evison (1995), una ventaja potencial de los coagulantes naturales es que la alcalinidad provee la capacidad de amortiguación necesaria del pH, debido posiblemente a la precipitación de productos insolubles de la reacción que ocurre entre el coagulante natural y los iones presentes en el agua.

3.5 Remoción de microorganismos

La dosis considerada como óptima de los exudados gomosos para *C. odorata*, de 20 mg/L fue usada para determinar su potencial de remoción de microorganismos entéricos inoculados en el agua turbia sintética, y así evaluar su posible utilización como agentes naturales que favorezcan la desinfección del agua bajo condiciones reales en las plantas de potabilización. En el cuadro 1, se puede

observar la disminución significativa en el número de coliformes totales y fecales, de 2/100 mL.

Considerando un inóculo inicial de NMP de 220-350/100 mL de coliformes totales, se alcanza un porcentaje de remoción de 98% para coliformes fecales y de 99% para coliformes totales. Estos resultados indican la eficiencia de los agentes coagulantes naturales para la reducción de microorganismos presentes en las aguas naturales.

4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos en esta investigación se presentan las siguientes conclusiones: el producto vegetal (exudado gomoso) de *C. odorata* es eficiente como agente natural para la coagulación y desinfección de las aguas, representando una alternativa viable en sustitución de las sales de aluminio; el producto vegetal (exudado gomoso) de *C. odorata* empleado para el proceso de coagulación fue capaz de remover suficientes niveles de turbiedad y de color hasta alcanzar los valores estándares para uso de agua potable establecidos en la normativa vigente; el producto vegetal (exudado gomoso) de *C. odorata* no altera los valores de pH y alcalinidad total, por lo que no requiere la adición de sustancias químicas, para ajustar estos valores a lo establecido en la normativa venezolana vigente para el agua destinada a consumo humano; las pruebas bacteriológicas (NMP) demuestran la eficiencia del producto vegetal (exudado gomoso) de *C. odorata* como desinfectante produciendo agua segura y confiable desde el punto de vista microbiológico.

5. Agradecimiento

Al personal del Cepario Anibal Zaidenberg, adscrito al Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias, de La Universidad del Zulia, por el apoyo brindado con la cepa de *E. coli*.

6. Referencias bibliográficas

AL AZHARIA, S. 1988. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *Journal of American Water Works Association* 80 (6): 43-50.

- ARBOLEDA, G. 2000. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. McGraw-Hill. Santafe de Bogotá. 1.155 p.
- CLESCERI, L., A. GREENBERG y A. EATON. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation. USA. 367 p.
- GACETA OFICIAL DE VENEZUELA. 1998. *Normas sanitarias de calidad del agua potable No. SG-018-98*. Caracas, Venezuela. 14 p.
- KAWAMURA, S. 1991. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. *Journal of American Water Works Association* 83 (10): 88-91.
- LETTERMAN, R. y C. DRISCOLL. 1988. Survey of residual aluminum in filtered water. *Journal of American Water Works Association* 80 (4): 154-158.
- MUYIBI, S. y L. EVISON. 1995. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. *Water Research* 29 (12): 2.689-2.695.
- NDABIGENGESERE, A., K. NARASIAH y B. TALBOT. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research* 29 (2): 703-710.
- OKUDA, T., A. BAES, W. NISHIJIMA y M. OKADA. 2001a. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research* 35 (2): 405-410.
- OKUDA, T., A. BAES, W. NISHIJIMA y M. OKADA. 2001b. Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. *Water Research* 35 (3): 830-834.
- STAUBER, J., T. FLORENCE, C. DAVIES, S. ADAMS y S. BUCHANAN. 1999. Bioavailability of Al in alum-treated drinking water. *Journal of American Water Works Association* 91 (11): 84-93.
- UNESCO PRESS. 2003. *Agua para todos, agua para la vida*. Comunicado de prensa N° 2.003-16.