

Bol. Centro Invest. Biol. 42(1): 1-20

**EFICIENCIA DE LAS SEMILLAS
LEUCAENA LEUCOCEPHALA Y ALBIZIA LEBBECK EN
EL PROCESO DE COAGULACIÓN DEL AGUA**

YOSELIN LÓPEZ, ALTAMIRA DÍAZ*, LUÍS VARGAS¹, MARIELBA MAS Y RUBÍ,
GILBERTO COLINA, BETZABE SULBARÁN² Y JORGE PEÑA²

*Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de
Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apartado 526,
Maracaibo 4001-A, Estado Zulia, Venezuela*

**Autor de correspondencia: adiaz2430@hotmail.com*

¹*Centro de Investigaciones del Agua, Universidad del Zulia, Apartado 526,
Maracaibo 4001-A, Estado Zulia, Venezuela*

²*Laboratorio de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias, Universidad
del Zulia, Apartado 526. Maracaibo 4001-A, Estado Zulia, Venezuela*

Resumen. Las semillas de *Leucaena leucocephala* y *Albizia lebeck* son conocidas por tener un alto contenido de proteínas. Se estudió su eficiencia como coagulante y coadyuvante, a concentraciones de la solución madre de 2.500 y 5.000 mg/L. Las semillas se recolectaron, molieron, secaron y tamizaron, para su posterior extracción de grasa, y se establecieron sus efectos como coagulante y coadyuvante en el proceso de potabilización del agua. Ambos efectos se evaluaron mediante la prueba de jarra, turbidez, color, pH y alcalinidad total. Se utilizó la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución con Detector de Arreglo de Diodo (HPLC-DAD) para caracterizar el agente activo de las semillas, aplicando el método comercial Pico-Tag. El perfil de aminoácidos (aa) reveló la presencia de 14 (aa): Ser, Gly, His, Arg, Thr, Ala, Tyr, Val, Met, Cys, Ile, Leu, Phe y Lys, para ambas semillas, y la relación porcentual (p/p) de aminoácidos catiónicos fue de 0,054% p/p para *L. leucocephala* y 0,058 % p/p para *A. lebeck*. Las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebeck* son ineficientes como coagulantes naturales en el proceso de coagulación para los rangos de concentraciones de 1,04-294 mg/L y 1,26-365 mg/L respectivamente, para un valor de turbidez de 75 NTU. En adición, las semillas resultaron ineficientes como coadyuvantes naturales en el proceso de coagulación, a concentraciones de 1,01 y 1,15 mg/L, y usando 5-30 mg/L del sulfato de aluminio como coagulante primario, para el mismo valor de turbidez (75 NTU). No se cumplieran con los estándares

establecidos para garantizar la calidad del agua para consumo humano. *Recibido: 30 enero 2007, aceptado: 03 marzo 2008.*

Palabras clave. Coagulantes naturales, Coagulación, semillas, *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbek*.

EFFICIENCY OF *LEUCAENA LEUCOCEPHALA* AND *ALBIZIA LEBBECK* SEEDS IN THE PROCESS OF WATER CLARIFICATION

Abstract. *Leucaena leucocephala* and *Albizia lebbek* seeds are known for having a high protein content. We studied the efficiency of these seeds as coagulants and coadjutants, in mother solutions of 2,500 and 5,000mg/L. After collection, seeds were grounded, dried and sieved prior to fat extraction, and their effects as coagulants and coadjutants in the process of producing potable water were determined. Both effects were evaluated using the Jar Test, turbidity, color, pH and total alkalinity. High Resolution Liquid Chromatography using a Diode Array Detector (HPLC-DAD) was used to characterize active agents in the seeds, by applying the commercial Pico-tag method. The amino acid (aa) profile revealed the presence of 14 aa: Ser, Gly, His, Arg, Thr, Ala, Tyr, Val, Met, Cys, Ile, Leu, Phe, and Lys, for both seeds. the proportional percent (p/p) of cationic amino acids was 0,0054% for *L. leucocephala* and 0.058% for *A. lebbek*. For 75 NTU turbidity, *Leucaena leucocephala* and *A. lebbek* seeds were inefficient as natural coagulants in the coagulation process for concentrations of 1.04–294 mg/L and 1.26–365 mg/L, respectively. Using a 5–30 mg/L aluminum sulfate concentration as the primary coagulant and the same 75 NTU turbidity, the seeds were also inefficient as natural coadjutants during the coagulant process, at concentrations of 1.01 and 1.15 mg/L. Thus, established standards to guarantee water quality for human consumption were not accomplished. *Received: 30 January 2007, accepted: 03 March 2008.*

Key words. Natural coagulants, coagulation, seeds, *Leucaena leucocephala*, *Albizia lebbek*, water clarification.

INTRODUCCIÓN

El alumbre (sulfato de aluminio) es el coagulante más ampliamente utilizado en el proceso de coagulación del agua, debido a su alta efectividad para ayudar a la remoción de la turbiedad, y paralelamente para reducir microorganismos patógenos, tales como virus y giardias (Costello 1984 y Fitch y McCollum 1986). Sin embargo, los niveles elevados de aluminio residual pueden interferir de manera no deseada en el proceso de desinfección, protegiendo a los microorganismos (Hoff 1977). Asimismo, en los sistemas de

distribución, altas concentraciones de este compuesto químico, pueden causar deposición de sustancias viscosas y provocar posteriormente la reducción de la tasa del flujo (Costello 1984 y Fitch y McCollum 1986).

Las concentraciones finales de aluminio residual en el agua son una función de varios factores, entre los cuales se incluyen las concentraciones en el cuerpo de agua, la cantidad requerida como coagulante, el pH, la temperatura y el proceso utilizado para el tratamiento del agua (Gardner y Gunn 1995). No se conocen efectos benéficos de éste en los humanos, pero si hay evidencia de su neurotoxicidad a altas dosis en animales. Existen hechos que ratifican que pacientes con enfermedad crónica renal, sometidos a diálisis, sufren de demencia aguda como resultado de la exposición yatrogénica (Alfrey *et al.* 1976, 1980). Se han reportado estudios, donde se demuestra que, grandes y numerosos ovillos neurofibrilares, característicos de la enfermedades de: Alzheimer, esclerosis lateral amiotrófica y Parkison, presentes en regiones del cerebro, tienen altos niveles de aluminio (Crapper 1976) (Crapper *et al.* 1991).

La mayoría de los polielectrólitos naturales se utilizaron en la coagulación tradicional del agua, en países tropicales en vías de desarrollo, siendo retomado su uso, por su simplicidad y bajo costo de tratamiento en casas rurales o en pequeños grupos comunales (Samia 1988). En Sudán, las semillas secas de *Moringa oleifera* se utilizan, en lugar del alumbre, por las mujeres rurales para tratar la alta turbidez del agua del Nilo (Jahn 1986). El uso de coagulantes naturales provenientes de las semillas de *Leucaena leucocephala* y *Albizia lebbek* para la clarificación del agua cruda, representa una alternativa viable para minimizar el impacto que el residual de aluminio podría causar a la salud humana, a los sistemas de distribución y al proceso de desinfección. Las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebbek* son utilizadas como forraje (pasto verde) de alta calidad para rumeantes por tener un alto contenido de proteína, la cual está relacionada con el efecto coagulante (Jones y Harrison 1980). En esta investigación se evalúa la eficiencia de las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebbek*, como coagulantes y coadyuvantes en el proceso de coagulación del agua turbia sintética.

MATERIALES Y MÉTODOS

PREPARACIÓN DEL AGUA TURBIA SINTÉTICA

El agua turbia sintética se preparó mediante la adición de 5 g de caolina a 1 L de agua de chorro. Esta suspensión se agitó por 30 min para lograr una dispersión uniforme de las partículas, estableciéndose un período de 24 h para

la hidratación. Este modelo no representa el agua real de ninguna ciudad, pero es una suspensión estable que puede ser usada para estudiar el mecanismo de coagulación (Ndabigengesere *et al.* 1995). De esta suspensión, se extrajo el 70% del sobrenadante y una vez cumplido el tiempo de hidratación se procedió a medir la turbiedad a intervalos de cinco min hasta completar una hora, para elaborar la curva de estabilidad del agua turbia sintética.

OBTENCIÓN Y SOLUBILIDAD DEL POLVO CRUDO

Los frutos secos de *L. leucocephala* y *A. lebbeck* se recolectaron en el sector Paraíso, municipio Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, donde las especies se reproducen en abundancia, luego se trasladaron al laboratorio y se procesaron en un molino eléctrico doméstico de rotación (Osterizer®), hasta obtener un polvo fino, el cual se pasó por un tamiz de malla No. 80 (0,177 mm de diámetro de poro). Posteriormente, se realizó la extracción de grasa utilizando el sistema Soxhlet (Normas Covenin 1981). La solubilidad de las soluciones coagulantes se determinó mediante sólidos totales, utilizando diferentes concentraciones (1, 0,5 y 0,25%). Luego, se midieron los sólidos disueltos con el objeto de establecer las concentraciones reales.

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LAS SEMILLAS COMO COAGULANTES

Un método práctico para determinar las dosis requeridas de coagulante y de otros factores que afectan el proceso de coagulación (pH, alcalinidad, temperatura) es a través del ensayo a escala de laboratorio denominado prueba de jarra (Jar Test) debido a que los resultados que se obtienen pueden ser extrapolados a las operaciones de planta. Este proceso se considera más eficiente cuando se logra una menor turbiedad, ya que éste es el parámetro de medición habitual (Abramovich *et al.* 2004).

Se realizaron dos ensayos de jarra exploratorios, para establecer el efecto coagulante de las semillas estudiadas, empleando soluciones madre de 2.500 y 5.000 mg/L. Ambas soluciones se filtraron a través de un papel de filtro Whatman No. 1 y posteriormente se le determinó los sólidos disueltos, con el fin de obtener la verdadera concentración de la solución. De estas soluciones madre, se extrajeron volúmenes apropiados, para preparar soluciones hijas en los siguientes rangos de concentración: 1,04-294 mg/L de *L. leucocephala* y 1,26-365 mg/L de *A. lebbeck*. En el primer ensayo se usaron las concentraciones: 1,04-52 ppm para *L. leucocephala* y 1,26-63 ppm para *A. lebbeck*; mientras que para el segundo ensayo, el rango de concentración para *L. leucocephala* fue de 49-294 ppm y de 61-365 ppm, para *A. lebbeck*.

La evaluación de la coagulación se llevó a cabo utilizando el equipo Jar-Test para las semillas estudiadas. Se agregó 250 mL del modelo de agua turbia sintética, a cada uno de los vasos de 1.000 mL y se procedió a agregar la solución del compuesto orgánico (a las diferentes concentraciones), en dosis progresivas de 0,20; 0,40; 0,60; 2; 5 y 10 mL, para dar inicio a la agitación rápida (100 rpm, 1 min). Posteriormente se procedió a agitar lentamente dichas soluciones (30 rpm, 20 min), para finalizar con la fase de sedimentación (30 min). Finalizado este tiempo, se midió la turbiedad y el color aparente (APHA, AWWA, WEF 1998) a cada uno de los vasos de precipitado. Para el segundo ensayo de jarra se modificaron las dosis de compuestos orgánicos a 5, 10, 15, 20, 25 y 30 mL para cada concentración, utilizando la misma metodología realizada para la primera corrida.

EFFECTO DE LAS SEMILLAS COMO COADYUVANTES DE COAGULACIÓN

Los ensayos de jarra utilizando el sulfato de aluminio como coagulante primario y los compuestos orgánicos, como coadyuvantes, se realizaron por triplicado. Para los mismos se preparó el modelo de agua turbia sintética descrito anteriormente.

Sulfato de aluminio como coagulante (Ensayo patrón): Este ensayo se estableció como patrón de referencia, para los ensayos posteriores con las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebbbeck* como coadyuvantes. Para los ensayos de jarra se usó la solución del coagulante metálico al 1% (10.000 mg/L) y se agregó 500 mL del modelo de agua turbia sintética, a cada uno de los vasos de 1.000 mL. Posteriormente, se procedió a agregar la solución en concentraciones progresivas de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 mg/L, siguiendo la metodología establecida en el APHA, AWWA, WEF (1998). Al finalizar el ensayo, se determinaron los parámetros: turbidez, color aparente, pH y alcalinidad total y se procedió a establecer la dosis óptima del coagulante metálico primario (sulfato de aluminio).

Semillas de L. leucocephala y A. lebbbeck como coadyuvantes: Se realizaron los ensayos de jarra para ambas semillas, usando soluciones del coagulante metálico al 1% (10.000 mg/L) y de las semillas al 0,50 % (5.000 mg/L). Esta última solución se filtró con papel de filtro Whatman No. 1, para determinar los sólidos disueltos. Se agregó 500 mL del modelo de agua turbia sintética, a cada uno de los vasos de 1.000 mL y se procedió a adicionar las dosis del coagulante metálico primario del ensayo patrón correspondiente a las siguientes concentraciones 5, 10, 15, 20, 25 y 30 mg/L. En cada uno de los Jar-Test, se añadió una concentración constante del compuesto orgánico como

coadyuvante a estudiar (1,01 mg/L para *L. leucocephala* y 1,15 mg/L para *A. lebbeck*) siguiéndose la metodología establecida en el APHA, AWWA, WEF (1998). Al finalizar cada ensayo, se determinaron los parámetros: turbidez, color aparente, pH y alcalinidad total.

COMPOSICIÓN DE AMINO ÁCIDOS

Obtención del polvo crudo: Se recolectaron los frutos secos de los árboles *L. leucocephala* y *A. lebbeck* ubicados en el Sector Paraíso, Avenida 19 con Calle 72, municipio Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Se extrajeron las semillas, las cuales se procesaron en un molino hasta obtener un polvo fino, que posteriormente se tamizó (Tamiz No. 20) según lo descrito en el Oficial methods of análisis of AOAC international (1997). Finalmente se realizó la extracción de aceites y grasas mediante un sistema Soxhlet.

Determinación del perfil de amino ácidos: Los aminoácidos (aa) se analizaron por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), con Detector de Arreglo de Diodo (DAD), mediante la aplicación del método comercial (Manual Pico-Tag 1988). Tal método establece una hidrólisis ácida, resecado-derivatización y análisis cromatográfico de la muestra.

La hidrólisis ácida se llevó a cabo tratando el polvo fino desgrasado de las semillas *L. leucocephala* y *A. lebbeck* con HCl 6 N al 1% a una temperatura 105-110 °C ± 2 °C durante 24 h. Posteriormente el hidrolizado se secó al vacío para eliminar cualquier tipo de impureza, se agregó un reactivo resecante, una mezcla etanol: agua: TEA (2:2:1), y luego se secó nuevamente. Las muestras resecadas se trataron con un reactivo derivatizante, una mezcla etanol:agua:TEA:PITC (7:1:1:1). Finalmente, se agregó una solución diluyente preparada con Na₂HPO₄, agua y acetonitrilo.

Una vez que las muestras fueron derivatizadas pre-columna con PICT (fenilisotiocianato), los aminoácidos se analizaron en un cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC), el cual consta de una bomba cuaternaria modelo HP 1050, detector de arreglo de diodo (DAD) modelo HP 1100, inyector manual (con un loop de 20 µL) y una columna de análisis Pico-Tag Amino Acid.

La separación de los aminoácidos se logró mediante elución por gradiente, a 39 °C, usando como fase móvil la combinación de los eluentes A: acetato de sodio trihidratado (19 g), agua (1L), trietilamina (0.5 mL) y B: acetonitrilo (600 mL) y agua (400 mL). El tiempo de cada corrida fue de 14 min.

El proceso de resecado y derivatización también se aplicó a un patrón estándar, el cual contenía los aminoácidos siguientes, a una concentración de 1,25 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (a excepción de la Cys, a 91,25 $\mu\text{L}/\text{mL}$): ácido glutámico (Glu), serina (Ser), glicina (Gly), histidina (His), arginina (Arg), treonina (Thr), alanina (Ala), tirosina (Try), valina (Val), metionina (Met), cisteína (Cys), isoleucina (Ile), leucina (Leu), fenilalanina (Phe) y lisina (Lys). De este patrón se tomaron alícuotas de 15, 20 y 25 μL , las cuales se diluyeron en 400 μL de la solución diluyente al igual que las muestras. Se inyectaron 20 μL por separado de cada una de estas diluciones, por triplicado, con la finalidad de preparar las curvas de calibración para cada aminoácido. La cuantificación de los aminoácidos presentes en las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebeck* se realizó mediante la comparación de los tiempos de retención y las áreas de los picos entre las muestras y el patrón estándar de aminoácidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESTABILIDAD DEL AGUA TURBIA SINTÉTICA

El estudio de la estabilidad del agua turbia sintética preparada se basó en la medición de la turbidez (cada cinco min hasta completar una hora), la cual, se mantuvo prácticamente constante a lo largo del ensayo (Fig. 1). El agua turbia preparada presentó las siguientes características: turbiedad: 76 NTU; pH: 7,37; color aparente: 50 UC y alcalinidad total: 71 mg/L CaCO_3 .

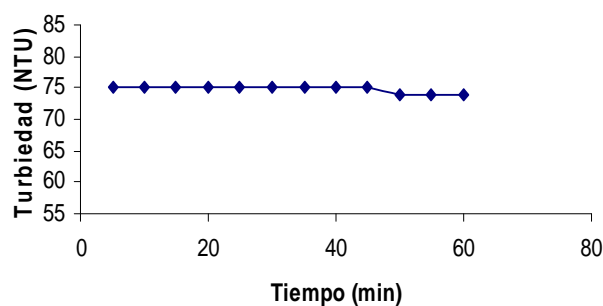


Figura 1. Estabilidad del agua turbia sintética.

SOLUBILIDAD DE LAS SEMILLAS DE *L. LEUCOCEPHALA* Y *A. LEBBECK*

La mayor solubilidad, para ambas semillas, se observó a una concentración de 0,5%, obteniendo un 51% para *L. leucocephala* y 62 % para

A. lebbeck. Estos valores son superiores al reportado para las semillas de *M. oleifera* (25%) (Ndabigengesere y Subba 1998), debido posiblemente al hecho que éstas poseen un mayor contenido de proteínas solubles en agua.

PRIMER Y SEGUNDO ENSAYOS EXPLORATORIOS COMO COAGULANTES

Los resultados en la Figura 2 (a-d), muestran que la turbidez tiende a aumentar al incrementar la concentración del coagulante natural (turbidez inicial del agua 75 NTU). Estos resultados son contrarios a los reportados por Ndabigengesere y Subba (1998) para las semillas de *M. oleifera*, donde se alcanzó una remoción del 90%; esto podría estar relacionado con el bajo contenido de aminoácidos catiónicos para ambas semillas, los cuales no son suficientes para interactuar con las partículas coloidales.

La Norma Venezolana vigente (Gaceta Oficial 1998) establece como valor máximo aceptable 5 NTU de turbidez. Partiendo de ello, ninguna de las dosis aplicadas en ambos casos arrojaron valores remanentes que se ajustaran a dicha Norma.

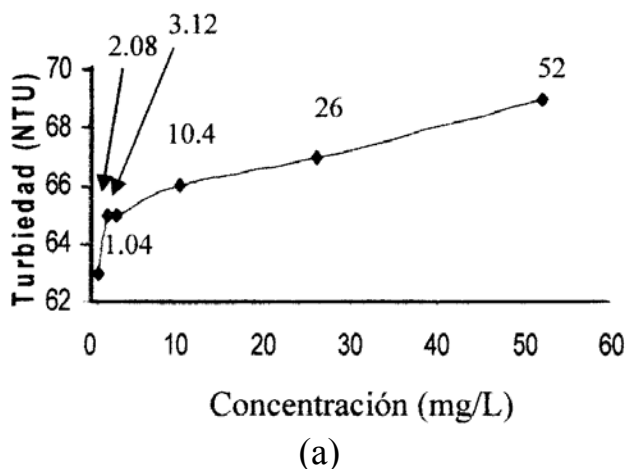
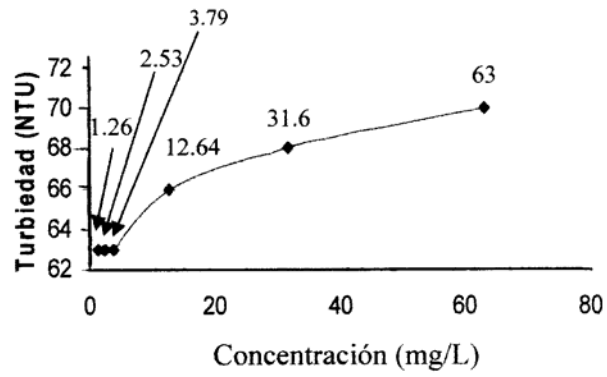
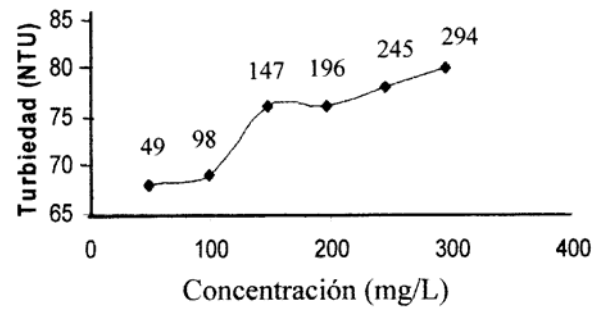


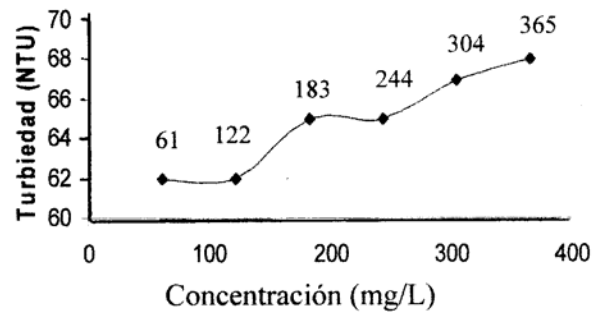
Figura 2. Comportamiento de la turbiedad en relación a las concentraciones. En el primer ensayo exploratorio: (a) *L. leucocephala*.



(b)



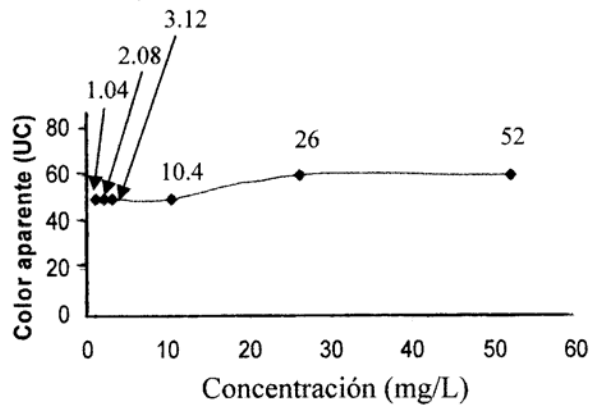
(c)



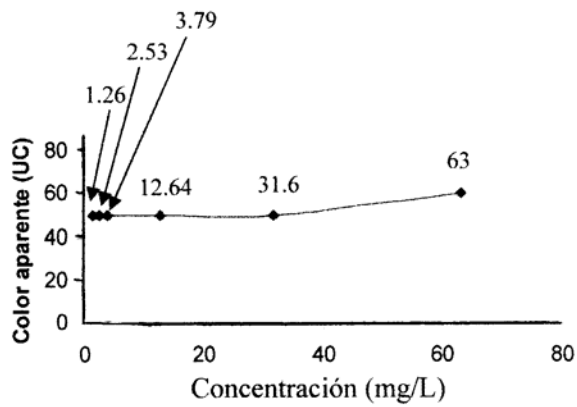
(d)

Figura 2. Cont. Comportamiento de la turbiedad en relación a las concentraciones. En el primer ensayo exploratorio: (b) *A. lebeck*. En el segundo ensayo exploratorio: (c) *L. leucocephala*, (d) *A. lebeck*.

Los resultados en la Figura 3 (a y b), muestran que el color aparente no presentó variación con respecto a las concentraciones de compuestos naturales (color aparente inicial del agua 50 UC), a excepción de las dos últimas para *L. leucocephala* donde este parámetro aumentó a 60 UC y para la última concentración de *A. lebbeck*, a la cual se incrementó el color hasta alcanzar 60 UC. Los resultados en la Figura 4 (a y b) señalan un aumento de color a las dos últimas concentraciones para ambos coagulantes orgánicos. Estos resultados pueden atribuirse a la mayor concentración, lo cual conduce a la dispersión de las partículas coloidales que proporcionan color al agua (González *et al.* 2006).



(a)



(b)

Figura 3. Comportamiento de color aparente en relación a las concentraciones en el primer ensayo exploratorio de: (a) *L. leucocephala* y (b) *A. lebbeck*.

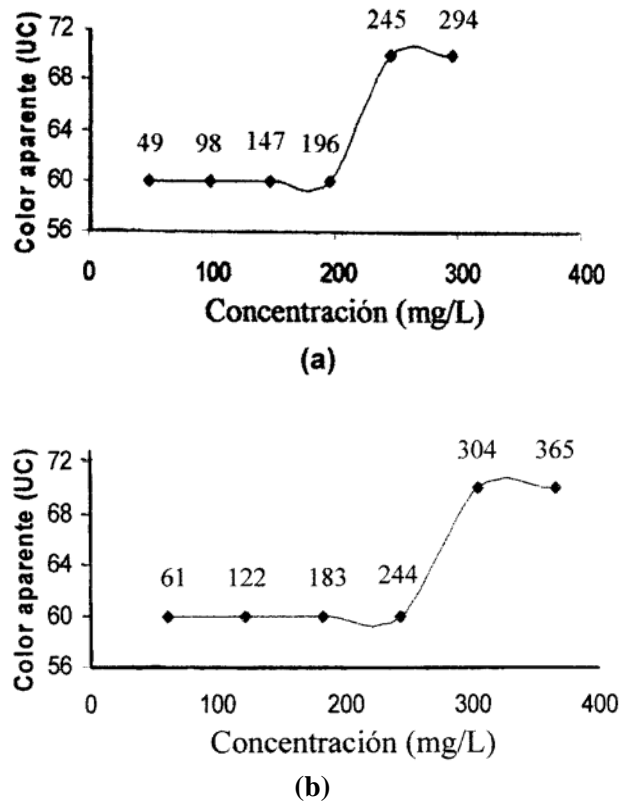


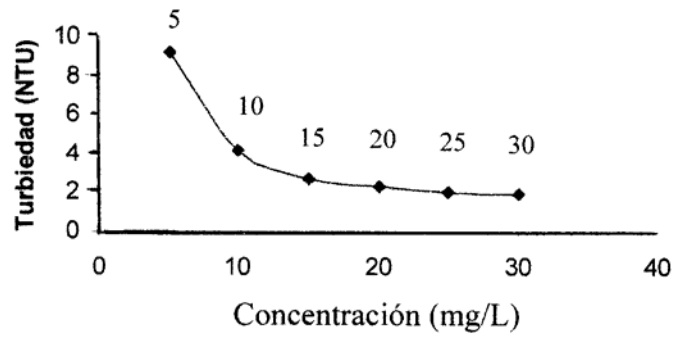
Figura 4. Comportamiento del color aparente en relación a las dosis en el segundo ensayo exploratorio de: (a) *L. leucocephala* y (b) *A. lebbbeck*.

La Norma Venezolana vigente (Gaceta Oficial No. 36.395 1998) establece como valor máximo aceptable 15 UC. Partiendo de ello, ninguna de las concentraciones aplicadas en ambos casos (Figs. 3 y 4) arrojaron colores remanentes que se ajustaran a dicha Norma. En contraste, éste se incrementó en algunos casos, debido al hecho que los coagulantes orgánicos no actuaron eficientemente en la remoción de color.

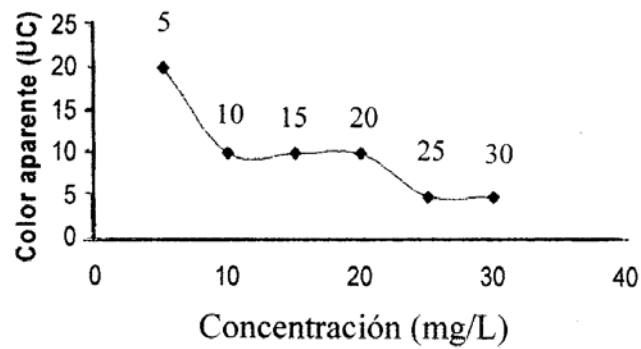
ENSAYO PATRÓN CON $Al_2(SO_4)_3$ COMO COAGULANTE PRIMARIO

La Figura 5 muestra las variaciones de la turbidez, color aparente, pH y alcalinidad con respecto a las dosis del sulfato de aluminio como coagulante. La concentración óptima seleccionada, en base a la Norma vigente, fue de 10 mg/L, obteniéndose para ésta una turbidez de 4,20 NTU, un color aparente de

10 UC, un pH de 7,31 y una alcalinidad total de 65 mg/L CaCO₃. Estos resultados servirán de referencia para establecer comparaciones entre el sulfato de aluminio y las semillas en estudio como coadyuvantes de coagulación.

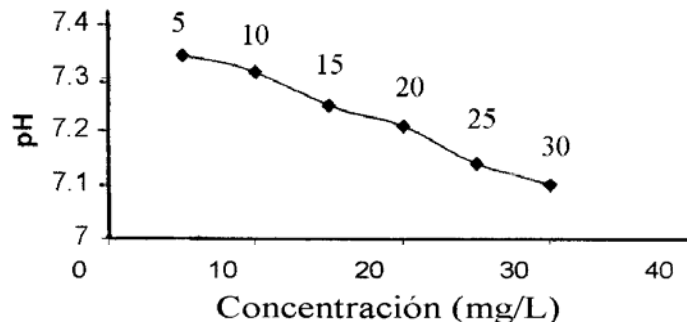


(a)

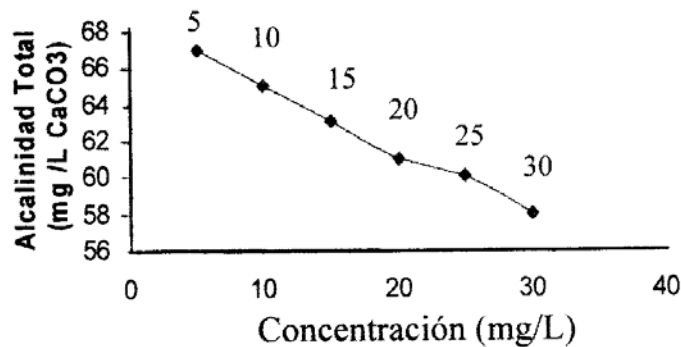


(b)

Figura 5. Comportamiento de la (a) turbiedad, (b) color aparente, (c) pH y (d) alcalinidad total, en relación a las concentraciones del sulfato de aluminio como coagulante.



(c)



(d)

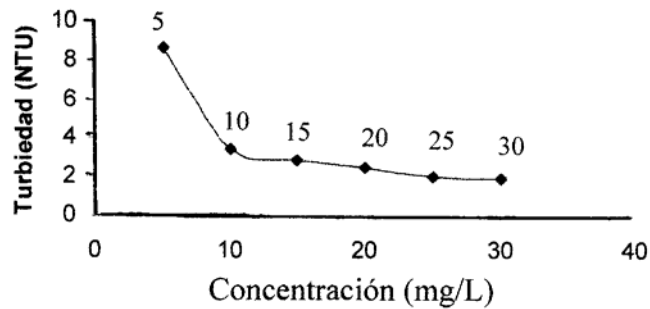
Figura 5. Cont. Comportamiento de la (c) pH y (d) alcalinidad total, en relación a las concentraciones del sulfato de aluminio como coagulante.

ENSAYO DE LAS SEMILLAS EN ESTUDIO COMO COADYUVANTES DE COAGULACIÓN

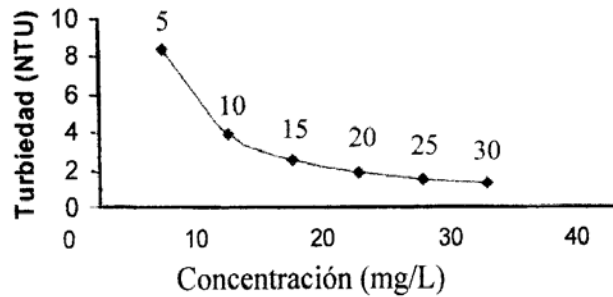
La Figura 6 muestra que la turbidez no presenta variación apreciable con respecto a las concentraciones de los coadyuvantes (1,01 mg/L para *L. leucocephala* y 1.15 mg/L para *A. lebeck*). Estos resultados son similares a los obtenidos cuando se utilizó el sulfato de aluminio como ensayo patrón. En la Figura 7 se observa una variación de color en el rango de 20 a 5 UC, tendencia similar a la obtenida con el sulfato de aluminio (Fig. 5b). Los resultados obtenidos muestran que las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebeck*, como coadyuvantes de coagulación, no mejoraron la eficiencia de remoción de la turbidez y del color aportado por el coagulante primario, lo

cual evidencia poca eficiencia para las concentraciones estudiadas. Este hecho indica que no se establece una competencia entre el compuesto natural utilizado como coadyuvante de coagulación y el coagulante primario, por los sitios de adsorción en las partículas coloidales, actuando solamente este último.

En la Figura 8 (a-d) se evidencia que tanto el pH como la alcalinidad total no presentaron variación apreciable al añadir las semillas en estudio. Los resultados obtenidos son muy similares a los que se obtuvieron cuando solo se utilizó el sulfato de aluminio como coagulante (Figs. 5c y 5d). La normativa vigente venezolana (Gaceta Oficial 1998) para aguas de consumo humano establece valores de pH entre 6,5-8,0; intervalo en el cual se incluyen los valores obtenidos para ambas semillas (7,06-7,33), es decir, que al usarlas como coadyuvantes de coagulación, mantienen los valores de pH en un margen óptimo o aceptable para un agua turbia sintética de 75 NTU. El valor



(a)



(b)

Figura 6. Comportamiento de la turbiedad en relación a las concentraciones de sulfato de aluminio como coagulante primario utilizando, como coadyuvante: (a) *L. leucocephala* (1,01 mg/L) y (b) *A. lebbeck* (1,15 mg/L).

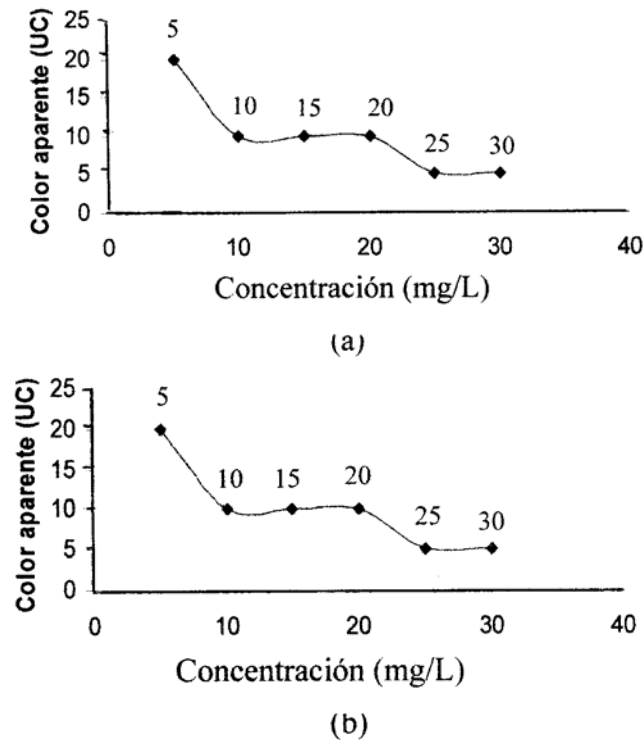
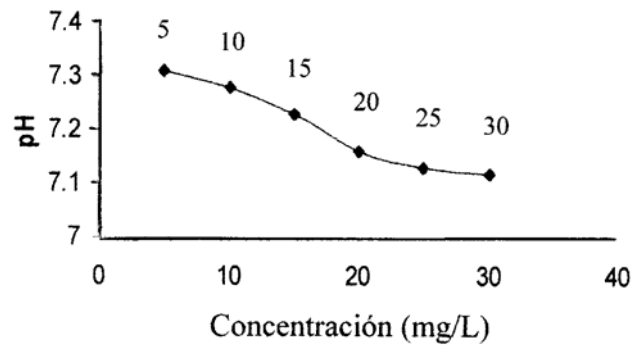


Figura 7. Comportamiento del color aparente en relación a las dosis de sulfato de aluminio como coagulante primario utilizando como coadyuvante: (a) *L. leucocephala* (1,01 mg/L) y (b) *A. lebbbeck* (1,15 mg/L).

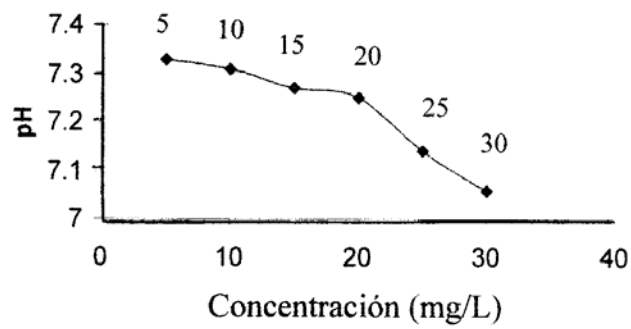
máximo de alcalinidad total en esta investigación (70 mg CaCO_3/L) estuvo por debajo del límite permisible fijado por la normativa vigente venezolana (Gaceta Oficial 1998) para aguas de consumo humano, el cual es de 400 mg CaCO_3/L , lo cual evidencia que hubo una amortiguación ejercida por el coadyuvante orgánico. Ndabigengesere y Subba (1998) manifiestan que una ventaja potencial de los coagulantes naturales es que la alcalinidad provee la capacidad de amortiguación necesaria del pH y dicho comportamiento puede ser debido a la precipitación de productos insolubles de la reacción que ocurre entre el coagulante natural y los iones presentes en el agua.

COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DE LAS SEMILLAS EN ESTUDIO

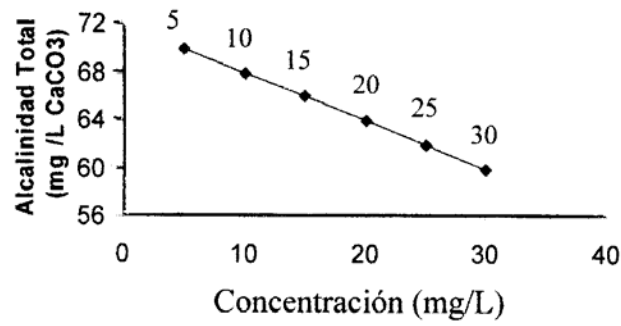
Las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebbbeck* contienen 14 aminoácidos (Tabla 1): serina (Ser), glicina (Gly), histidina (His), arginina (Arg), treonina (Thr), alanina (Ala), tirosina (Tyr), valina (Val), metionina (Met), cisteína



(a)

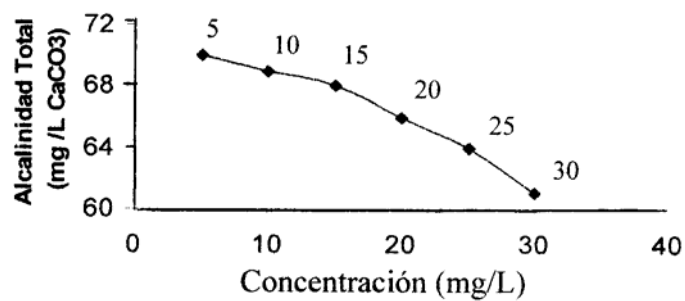


(b)



(c)

Figura 8. Comportamiento del pH y alcalinidad total en relación a las dosis de sulfato de aluminio como coagulante primario utilizando como coadyuvante: (a y c) *L. leucocephala* (1,01 mg/L) y (b y d) *A. lebbeck* (1,15 mg/L).



(d)

Figura 8. Cont.

Tabla 1. Porcentaje p/p de los aminoácidos constituyentes de la proteína activa de *L. leucocephala* y de *A. lebbbeck*.

AA	Semillas			
	<i>Leucaena leucocephala</i>		<i>Albizia lebbbeck</i>	
	mg AA/100 g M	% p/p	mg AA/ 100 g M	% p/p
Ser	9,53	0,010	11,30	0,011
Gly	1,20	0,012	14,70	0,015
His	19,40	0,019	20,70	0,021
Arg	19,10	0,019	21,50	0,022
Thr	15,50	0,016	17,60	0,018
Ala	14,60	0,015	21,40	0,021
Try	20,70	0,021	25,40	0,025
Val	11,93	0,012	10,56	0,011
Met	13,91	0,014	17,96	0,018
Cys	4,90	0,005	7,30	0,007
Ile	12,00	0,012	13,53	0,014
Leu	10,40	0,010	12,20	0,012
Fhe	19,00	0,019	18,90	0,019
Lys	15,27	0,015	16,04	0,016
		$\sum \%p/p = 0,20$		$\sum \%p/p = 0,23$

(Cys), isoleucina (Ile), leucina (Leu), fenilalanina (Phe) y lisina (Lys). Campos *et al.* (2003) reportaron la presencia de estos aminoácidos en la fracción activa de las semillas de *M. oleifera*, además del ácido aspártico, ácido glutámico y prolina. Los aminoácidos histidina, lisina y arginina poseen grupos básicos que captan protones y se cargan positivamente (Gómez-Moreno y Sancho 2004), estos podrían participar en la desestabilización de las partículas coloidales presentes en el agua turbia.

El contenido total de aminoácidos en las semillas de *A. lebeck* es de 0,23% p/p, similar al obtenido para las semillas de *L. leucocephala* (0,20% p/p). Tales porcentajes son inferiores al 6,92% p/p reportado por Campos *et al.* (2003) para las semillas de *M. oleifera*. El aminoácido mayoritario es la tirosina, para ambas semillas, mientras el menor porcentaje correspondió a la cisteína (Tabla 1).

Los resultados obtenidos indican que 8 de los 14 aa caracterizados para ambas semillas son apolares: Gly, Ala, Tyr, Val, Met, Ile, Leu y Phe (Tabla 1). Estos aminoácidos son hidrófobos, es decir, su tendencia es a rehuir el contacto con el agua (Gómez-Moreno y Sancho 2004) y representan un porcentaje másico de 0,115% p/p para *L. leucocephala* y del 0,135% p/p para *A. lebeck*, ambos porcentajes son inferiores al 2,779% p/p reportado para *M. oleifera* (Campos *et al.* 2003). Los 6 restantes constituyen aminoácidos polares: Ser, Thr, Cys, Lys, Arg y His (Tabla 1). Estos aminoácidos son hidrofílicos, es decir, tienden a asociarse con el agua, en menor o mayor grado (Campos *et al.* 2003) y representan el 0,084% p/p en *L. leucocephala* y el 0,094% p/p en *A. lebeck*, valores menores al reportado para *M. oleifera* (4,135% p/p) (Campos *et al.* 2003).

Los aa polares sin carga, Ser, Thr y Cys (Tabla 1) son débilmente polares (Campos *et al.* 2003) y representan el 0,030% p/p para *L. leucocephala* y el 0,036% p/p para *A. lebeck*, valores inferiores al 0,99% p/p reportado para *M. oleifera* (Campos *et al.* 2003). Los aa polares con carga neta positiva, His, Arg y Lys (Tabla 1) son fuertemente polares por lo cual generalmente suelen encontrarse en las superficies exteriores de las proteínas donde pueden hidratarse por el entorno acuoso que les rodea (Mathews y van Holde 1999), y como grupo su porcentaje másico representa solo el 0,054% p/p de *L. leucocephala* y el 0,058% p/p de *A. lebeck*, valores inferiores al 1,136% p/p reportado para *M. oleifera* (Campos *et al.* 2003), siendo estos los que confieren la propiedad coagulante.

CONCLUSIONES

Las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebbbeck* son ineficientes como coagulantes naturales en el proceso de coagulación para los rangos de concentraciones de 1,04-294 mg/L y 1,26-365 mg/L respectivamente, para un valor de turbidez de 75 NTU en el agua turbia sintética.

Las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebbbeck* para las concentraciones de 1,01 mg/L y 1,15 mg/L respectivamente, resultaron ineficientes como coadyuvantes naturales en el proceso de coagulación, para los rangos de concentraciones de 5-30 mg/L del sulfato de aluminio como coagulante primario, para un valor de turbidez de 75 NTU en el agua turbia sintética. Sin embargo, mantienen los valores de pH en un margen óptimo o aceptable según la normativa vigente venezolana para un agua turbia sintética de 75 NTU.

Las semillas de *L. leucocephala* y *A. lebbbeck* poseen un bajo porcentaje en peso de aminoácidos catiónicos (His, Arg, Lys) lo cual les confieren una propiedad coagulante.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES), Universidad del Zulia, por el financiamiento de este proyecto; al Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia; y al Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA) de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.

LITERATURA CITADA

- ABRAMOVICH, B., M. C. LURA, E. CARRERA, M. I. GILLI, M. A. HAYE Y S. VAIRA. 2004. Acción de distintos coagulantes para la eliminación de *Cryptosporidium* spp. en el proceso de potabilización del agua. Revista Argentina de Microbiología 36: 92-96.
- ALFREY, A. C., A. HEGG Y P. CRASWELL. 1980. Metabolism and toxicity of aluminium in renal failure. Amer. J. Clin. Nutr. 33: 1509-1516.
- ALFREY A. C., G. R. LEGENDRE Y W. D. KAEHNY. 1976. The dialysis encephalopathy syndrome. Possible aluminium intoxication. New England J. Med. 294(4): 184-188.
- APHA, AWWA, WEF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater (20 ed.). American Public Health Assoc., Washington, D. C., USA, pp. 10-161.
- CAMPOS, J., G. COLINA, N. FERNÁNDEZ, G. TORRES, B. SULBARÁN Y G. OJEDA. 2003. Características del agente coagulante activo de las semillas de *Moringa oleifera* mediante HPLC. Bol. Centro Invest. Biol. 37(1): 35-43.

- COSTELLO, J. J. 1984. Postprecipitation in distribution systems. *J. Amer. Water Works Assoc.* 76: 46–49.
- CRAPPER, D. R. 1976. Functional consequences of neurofibrillary degeneration. *En S. Gershon y R. D. Terry (eds.), The neurobiology of aging.* Raven Press, New York, NY.
- CRAPPER, D. R., T. P. KRUCK, W. J. LUKIW Y S. S. KRISHNAN. 1991. Would decreased aluminium ingestion reduce the incidence of Alzheimer's disease. *Canadian Med. Assoc. J.* 147(7): 793–804.
- FITCH, D. E., Y G. R. MCCOLLUM. 1986. Restoring the flow of finished water pipeline. *J. Amer. Water Works Assoc.* 78(1): 35–38.
- GACETA OFICIAL. 1998. Normas sanitarias de calidad del agua potable. *Gaceta Oficial No. 36.395, S.G.-018-98, Venezuela.*
- GARDNER, M. J. Y A. M. GUNN. 1995. Speciation and bioavailability of aluminium in drinking water. *Chem. Speciation Bioavailab.* 7(1): 9–16.
- GÓMEZ-MORENO, C. Y J. SANCHO. 2004. *Estructura de proteínas.* Editorial Ariel. Edición Gayban Gráfico. S. L., Barcelona, España, 567 pp.
- GONZÁLEZ, G., M. CHAVÉZ, D. MEJÍAS, M. MAS Y RUBÍ, N. FERNÁNDEZ Y G. LEÓN DE PINTO. 2006. Uso del exudado gomoso producido por *Samanea saman* en la potabilización de las aguas. *Revista Técnica Facultad de Ingeniería de LUZ* 29(1): 1–15.
- HOFF, J. C. 1977. The relationship of turbidity to disinfection of potable water. Conference on the Evaluation of Microbiology Standards for Drinking Water, Office of Water Supply, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C., USA.
- JAHN, S. A. 1986. Proper use of African natural coagulants for rural water supplies. Research in the Sudan and guide to new projects. *GTZ Manual*, 191 pp.
- JONES, R. M. Y R. L. HARRISON. 1980. Survival of individual plants of *Leucaena leucocephala* in grazing land. *Tropical Agriculture* 57: 265–266.
- MANUAL PICO-TAG. 1995. Water's Corporation, Capitulo 3. pp.1- 48. Water Division of Millipore, USA.
- MATHEWS, C. K. Y K. E. VAN HOLDE. 1999. *Bioquímica* (2 ed.). Editorial McGraw-Hill Iberoamericana, pp. 142–164.
- NDABIGENGESERE, A. Y K. SUBBA. 1998. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Res.* 32(3): 781–791.
- NDABIGENGESERE, A., K. SUBBA NARASIAH Y B. TALBOT. 1995. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Res.* 29(2): 703–710.
- Normas Covenin. 1981. 1785-81 Norma Venezolana. Productos de cereales y leguminosas. Determinación de grasa. COVENIN No. 1785-81.
- Official Methods of Analysis of AOAC International (16 ed.). 1997. Gaithersburg-Maryland, USA, 42 pp.
- SAMIA, A. Y J. AZHARIA. 1988. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. *J. Amer. Water Works Assoc.* 80(6): 43–50.