

CLARIFICACIÓN DE AGUAS DE ALTA TURBIDEZ EMPLEANDO EL MUCÍLAGO DE *OPUNTIA WENTIANA* (BRITTON & ROSE) / (CACTACEAE)

Clarification of high turbidity water using *Opuntia wentiana*
(Britton & Rose) / (Cactaceae) mucilage

Yoselin Parra, Marieli Cedeño, María García, Iván Mendoza,
Yoalis González y Lorena Fuentes

Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago,
Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Cabimas-Venezuela
lfuentesp@hotmail.com

Resumen

El proceso de coagulación del agua causa la coalescencia de material suspendido, lo cual generalmente se logra adicionando sustancias químicas a la misma. Sin embargo, dado que algunas de estas sustancias se han asociado a problemas de salud, diversos investigadores estudian como alternativa la utilización de coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales. Por esta razón, se evaluó la efectividad de un coagulante extraído de la tuna *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) en la clarificación del agua. Para ello, se recolectaron muestras de agua cruda natural en la planta de tratamiento Pueblo Viejo (Estado Zulia, Venezuela) y a partir de éstas se prepararon aguas diluidas con turbiedades iniciales de 100, 120, 160, 180 y 200 UNT. Estas aguas fueron tratadas con diferentes dosis (300, 400, 500, 600 y 700 ppm) del coagulante natural. Se evaluaron los parámetros pH, turbidez, color y alcalinidad en las aguas crudas y en las tratadas. Después de aplicar las dosis óptimas del coagulante (600 y 700 ppm), los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 85,25 y 94,84% antes de la simulación de la filtración y entre 91,82 y 98,34% luego de ello. Estos resultados demostraron la efectividad del coagulante extraído de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) en la clarificación del agua.

Palabras clave: Clarificación del agua, coagulante natural, *Opuntia wentiana* y mucílago.

Abstract

Coagulation causes coalescence of suspended material; this is generally achieved by adding chemical substances to water. Nevertheless, since some of these substances have been associated to health problems, several researchers have studied natural coagulants obtained from vegetables species as an alternative. For this reason, the effectiveness of a coagulant extracted from the slime *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) in water clarification was evaluated. To this purpose, samples of natural crude water at the treatment plant of Pueblo Viejo (Zulia state, Venezuela) were collected and from them, diluted waters with initial turbidity of 100, 120, 160, 180 y 200 NTU were prepared. These waters were treated with different doses (300, 400, 500, 600 and 700 ppm) of natural coagulant. The PH, turbidity, color, and alkalinity parameters were evaluated in the crude and treated waters. After the coagulant optimum dose was applied (600, and 700 ppm), turbidity removal percentages oscillated between 85,25 and 94,84% before purification simulation and between 91,82 and 98,34% after it. This demonstrated the effectiveness of the coagulant extracted from *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) in water clarification.

Key words: water clarification, natural coagulant, *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) and mucilage.

INTRODUCCIÓN

El agua cruda (proveniente de ríos, lagos y manantiales) trae consigo impurezas, gases, polvo y microorganismos, los cuales pueden afectar la salud del ser humano. Por ello debe ser sometida a un proceso de potabilización que incluye las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En la etapa de coagulación se adicionan sustancias para causar la coalescencia del material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua. Los coagulantes principalmente utilizados son sustancias químicas como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, entre otras; sin embargo, en las plantas de tratamiento de aguas se usa con preferencia el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ (Romero, 2005 y Barrenechea, 2004).

Dado que algunos de estos coagulantes se han asociado a problemas de salud [3], diversos investigadores en el mundo estudian como alternativa los coagulantes naturales. Con relación a este tipo de coagulantes se reportan los obtenidos de especies vegetales de la familia Moringaceae, como *Moringa oleifera* [4, 5, 6, 7] y de la familia Cactaceae, como *Cereus deficiens* (conocido comúnmente como cactus o cardón lefaria) [8] y *Opuntia cochinellifera* [9], entre otras (Rondeau et al, 2000; Ndabigengesere, Narasiah y Talbot, 1995; Okuda et al, 1999; Mendoza et al, 2000; Caldera et al, 2007; Martínez et al, 2003; y Almendarez, 2004).

El orden Cactales, representado en Venezuela por una sola familia (Cactaceae), agrupa según Badillo, Schnee y Benítez (1985), casi exclusivamente plantas de tallo suculento, distribuidas generalmente en zonas xerófilas, las cuales algunas veces son utilizadas en las investigaciones como coagulantes para la potabilización de aguas. Las cactáceas comestibles se pueden clasificar en tres tipos: las tunas, las pitayas (trepadoras) y las pereskias (columnares). Entre las primeras, se encuentra la tuna brava *Opuntia wentiana* (Britton & Rose), la cual es una especie que ha sido reportada como uno de los arbustos presentes como material xerófilo espinoso del municipio Miranda, estado Zulia, Venezuela (Esquivel, 2004; y Vera, et al, 2009). En la literatura revisada no se encuentran referencias de la utilización de *O. wentiana* como coagulante en la potabilización del agua.

La idea de emplear cactáceas como coagulantes naturales rescatando prácticas indígenas y rurales, se basa en la posibilidad de sustituir el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ o minimizar su uso, pues se ha sugerido que una concentración de aluminio superior a 0,1 ppm en agua para consumo humano puede ser un factor de riesgo para la demencia, especialmente para el mal de Alzheimer (Zhang, Luo y Yang, 2006; y Mendoza et al, 2008).

Las cactáceas en general contienen mucílago parecidos a las pectinas, las cuales se definen como heteropolisacáridos presentados en la naturaleza en la forma de elementos estructurales del sistema celular de las plantas. Su componente principal es el ácido poligalacturónico. Según Devia (2003), se emplean en la industria de los alimentos, como agente de clarificación y aglutinantes. Las mismas han sido determinadas para algunas especies de esta familia, particularmente, la composición del mucílago de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) se desconoce, pero han sido reportadas la de *Opuntia humifusa*, *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia monocanta* y *Opuntia nopolea-coccinillifer*. Estas especies del género *Opuntia* presentan cantidades variables de arabinosa, xilosa, galactosa, ramnosa y ácido galacturónico (Henríquez et al, 2009; Moreno et al, 2008; Padrón, Moreno y Medina, 2008; y Goycoolea y Cárdenas, 2010).

El potencial coagulante de especies del género *Opuntia*, así como su posible mecanismo de coagulación, ha sido reportado en la literatura [20], proponiéndose el mecanismo de adsorción y formación de puente, el cual también fue referido para pectinas en soluciones de Fe^{+3} y Cr^{+3} [21] y para el cardón *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. .

El propósito de este estudio fue evaluar la efectividad como coagulante del mucílago extraído de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose) en aguas de alta turbidez.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras de agua y preparación de aguas diluidas

El agua cruda se recolectó en el embalse Burro Negro, ubicado a 4 kilómetros aguas arriba de la carretera Lara-Zulia, en el Municipio Lagunillas del Estado Zulia, Venezuela, aplicando un muestreo no probabilístico durante las estaciones seca y lluviosa (Arias, 1999); para ello se utilizaron recipientes de 25 L.

Posteriormente, estas muestras de agua se trasladaron sin refrigeración al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia (LIANCOL), ubicado a 85 km del embalse (el traslado fue de aproximadamente 45 min). Las mismas fueron caracterizadas en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas (pH, color, turbidez y alcalinidad) y almacenadas en un refrigerador a temperaturas entre 15 y 20°C. Los ensayos se realizaron durante los dos primeros días de almacenamiento.

Para ajustar la turbidez inicial a los valores requeridos para esta investigación (100, 120, 160, 180 y 200 UNT), se diluyeron las muestras de agua cruda con agua del grifo, pues las primeras presentaron turbiedades muy altas durante la época lluviosa. Las variacio-

nes de los parámetros en estudio al adicionar el agua de grifo fueron mínimas y se registraron para los ensayos con cada valor de turbidez.

Obtención del coagulante

Las muestras de la tuna *O. wentiana* a partir de las cuales se extrajo el mucílago con propiedades coagulantes, fueron recolectadas en el sector Monte Pío de la Costa Oriental del Lago (Municipio Cabimas, Estado Zulia, Venezuela), donde se reproduce abundantemente. Se seleccionaron cladodios de *O. wentiana* libres de daños mecánicos y de infecciones, se eliminó la epidermis y se separó el tejido parenquimatoso, rico en mucílago. Este parénquima se licuó en un procesador doméstico durante 50 segundos, se separó la fase sólida de la acuosa con ayuda de un lienzo de gasa y se agregó en agua destilada para obtener una mezcla heterogénea mucilaginoso en una relación 1:1.

Simulación del proceso de coagulación-floculación, sedimentación y filtración

Las muestras de agua en estudio (100, 120, 160, 180 y 200 UNT) se colocaron en un equipo para la prueba de jarras, Modelo JLTG (Leaching Test Digital), a razón de un litro por vaso de precipitado. Los parámetros de control para la prueba de jarras son: gradiente de agitación rápida y lenta, tiempo de sedimentación, dosis de coagulante, pH, color, turbidez y alcalinidad, según lo estimado por González et al (2006). Se aplicaron las dosis de la mezcla mucilaginoso (300, 400, 500, 600 y 700 ppm) y se simuló a escala de laboratorio la agitación rápida a 100 rpm durante un minuto, la agitación lenta a 30 rpm durante 20 minutos y la sedimentación sin agitación durante 30 minutos, tal cual se llevan a cabo en la Planta de Tratamiento Pueblo Viejo (Estado Zulia, Venezuela). Los ensayos se realizaron a 25°C. La filtración se simuló en embudos de vidrio con papel de filtro grado cualitativo N° 1 de 15 cm de diámetro.

Determinación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, color y alcalinidad) se evaluaron por triplicado en el agua cruda, en las aguas diluidas y en las muestras de agua tratadas con el coagulante (antes y después de la filtración); para esto último se tomaron alícuotas del sobrenadante en cada vaso del equipo de jarras.

Para medir la turbidez se empleó un turbidímetro digital HF Scientific, inc., calibrado con soluciones es-

tandarizadas de formazina (1000 NTU, 10 NTU y 0,02 NTU). El pH se midió con un potenciómetro Thermo Electron Corporation, Orion 3 Star pH Benchtop, el cual se calibró con soluciones amortiguadoras de pH 7,00 y 4,01. Para la evaluación del color se utilizó un colorímetro Orbeco Hellige con discos comparadores platino-cobalto. La alcalinidad se determinó mediante el método volumétrico, basado en la realización de titulaciones con ácido sulfúrico 0,02 N, usando como indicador anaranjado de metilo y se expresó en mg CaCO₃/L (Clesceri, Green y Eaton, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las muestras de agua cruda los valores de pH variaron entre 7,60 y 7,82 unidades, ajustándose a lo establecido en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (6,5 a 8,5 unidades). La alcalinidad fluctuó de 40,0 a 60,0 mg CaCO₃/L, intervalo que resultó dentro de lo permisible, ya que ésta es aceptable hasta 140 mg CaCO₃/L. La turbidez osciló entre 102 y 332 UNT, alejándose del máximo referido por las normas mencionadas (5 UNT) (Doudet, 1981). El color se ubicó fuera de la norma, ya que fue igual o mayor de 100 UC Pt/Co, siendo 15 UC Pt/Co el valor más alto permitido (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del agua cruda

Parámetros Fisicoquímicos	Valores iniciales
Turbidez (UNT)	102 - 332
Color (UC Pt/Co)	≥ 100
PH	7,60 – 7,82
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	40,0-60,0

Las aguas con valores de turbidez inicial entre 100 y 200 UNT tratadas con la mezcla mucilaginoso de *O. wentiana* presentan porcentajes de remoción de turbidez antes de filtrar entre 41,47 y 94,84% con dosis óptimas de 700 ppm para 100, 120 y 160 UNT y de 600 ppm para 180 y 200 UNT. También muestran un aumento del porcentaje de remoción de turbidez decantada al aumentar la dosis del coagulante natural (Tabla 2), lo cual probablemente está asociado al hecho de que al aumentar los sólidos en suspensión, se requiere más cantidad de coagulante, ya que los polímeros como éste pueden presentar una concentración de coagulante óptima que depende del peso molecular y de la concentración de iones y sólidos en la suspensión, según lo afirmado por Sánchez y Untiveros (2004).

Tabla 2. Remoción de turbidez decantada (antes de filtrar) en aguas crudas diluidas tratadas con una mezcla mucilaginoso de *Opuntia wentiana* (Britton & Rose)

To (UNT)	Td Dosis 300 ppm	% R	Td Dosis 400 ppm	% R	Td Dosis 500 ppm	% R	Td Dosis 600 ppm	% R	Td Dosis 700 ppm	% R
100	58,53	41,47	38,80	61,20	26,47	73,53	17,30	82,70	7,89	92,11
120	24,07	79,94	15,27	87,27	15,07	87,47	15,63	86,97	13,9	88,42
160	85,5	46,56	66,0	58,75	40,0	75,00	29,2	81,75	23,6	85,25
180	65,03	63,87	55,57	69,13	40,83	77,32	20,43	88,65	20,70	88,50
200	15,93	92,03	12,37	93,81	10,37	94,81	10,32	94,84	11,37	94,31

To: Turbidez inicial Td: Turbidez decantada % R: Porcentaje de remoción de turbidez

Para todas las dosis de coagulante aplicadas en aguas con valores de turbidez inicial de 160, 180 y 200 UNT, el porcentaje de remoción de turbidez aumenta al incrementarse la turbidez inicial, pero, existen variaciones para turbiedades de 100 y 120 UNT, lo cual puede estar asociado al hecho de que la composición del mucílago cambió mejorando su eficiencia, pues ésta varía en algunas cactáceas como *Opuntia ficus-indica* y *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. Var. *hookeri* dependiendo de los factores edáficos en el sitio de cultivo, la estación, la edad de la planta, entre especies y variedades (Padrón, Moreno y Medina, 2008). En este estudio hubo variaciones en cuanto a la pluviosidad. Sin embargo, en diversas investigaciones con coagulantes naturales y sulfato de aluminio no se observan tendencias lineales con respecto a la relación entre porcentaje de remoción y el incremento de la turbidez inicial.

Después de aplicar las dosis óptimas del coagulante, es decir, aquellas concentraciones que permitieron obtener la mayor remoción de turbidez con la menor dosis, los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 85,25 y 94,84% antes de simular la filtración (Tabla 3) y entre 91,82 y 98,34 luego de ello (Tabla 4), demostrándose las propiedades como coagulante de la mezcla mucilaginoso obtenida de la cactácea *O. wentiana* y la relevancia de que puede ser utilizada

como un coagulante primario, pues el porcentaje de remoción de turbidez es superior a 70%.

Los porcentajes de remoción de turbidez obtenidos son similares a los reportados al emplear las cactáceas “Susucure” (*Hylocereus lemairei*) (94,53-98,20%) y Tuna España (*Opuntia ficus-indica*) (95,63-100%); y un polisacárido de origen animal denominado quitosano (98,22-99,63%) (González, Marcano, Mendoza y Fuentes, 2009; y Fuentes et al. 2008).

Para turbiedades iniciales de 100, 120 y 200 UNT se cumplió con lo establecido en la normativa venezolana (hasta 5 UNT). Para 160 y 180 UNT no se cumplió con la misma, lo cual puede estar relacionado con el factor pluviosidad mencionado anteriormente, no obstante, la remoción superó el 90%.

Los valores de pH que se registran con el tratamiento (7,01-7,69) se ajustan a los permisibles en Venezuela (6,5 a 8,5 unidades). Los valores de color no se ajustan a las normas, lo cual puede atribuirse a la alta pluviosidad en la zona durante la fase de estudio, generando alta escorrentía y arrastre de sedimentos. El parámetro alcalinidad no supera el valor máximo permisible (140 mg CaCO₃) y se clasifica según Merrit (1992), como una alcalinidad baja, ya que es menor de 75 mg CaCO₃/L. La norma venezolana no contempla

Tabla 3. Valores de turbidez inicial, turbidez decantada, porcentaje de remoción de turbidez, pH, color y alcalinidad

To (UNT)	Dosis óptima (ppm)	Td	% R	pH	Color (Pt/Co)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
100	700	7,89	92,11	7,60	80	48,67
120	700	13,90	88,42	7,72	80	44,00
160	700	23,60	85,25	7,18	70	35,33
180	600	20,43	88,65	7,21	80	43,00
200	600	10,32	94,84	7,34	80	44,00

To: Turbidez inicial Td: Turbidez decantada % R: Porcentaje de remoción de turbidez

Tabla 4. Valores de turbidez inicial, turbidez filtrada, porcentaje de remoción de turbidez, pH, color y alcalinidad

To (UNT)	Dosis óptima (ppm)	Tf	% R	pH	Color (Pt/Co)	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)
100	700	3,53	96,47	7,44	50	46,00
120	700	4,30	96,42	7,69	70	48,00
160	700	13,08	91,82	7,01	60	35,33
180	600	10,01	94,44	7,13	80	34,00
200	600	3,32	98,34	7,58	60	46,67

To: Turbidez inicial Tf: Turbidez filtrada % R: Porcentaje de remoción de turbidez

la alcalinidad como parámetro de calidad en las aguas potables.

Hasta ahora se desconocen estudios en los cuales se hayan usado coagulantes extraídos de *O. wentiana* para la potabilización de aguas. No obstante, se ha evaluado el efecto de otras especies del género *Opuntia* como *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia cochinellifera* y otras cactáceas como *Hylocereus lemairei* y *Cereus deficiens*.

A pesar de que el mecanismo de coagulación específico del mucílago de *O. wentiana* aún se desconoce, pudiera considerarse que es el mismo que se ha propuesto para otras especies del mismo género: la formación de puente-partículas en el cual las moléculas del polímero pueden ser suficientemente largas y flexibles para ser adsorbidas sobre diversas partículas. Esto coincide con las características de los flóculos observados, los cuales son alargados simulando raíces y no esféricos como los de *Moringa oleifera*.

CONCLUSIONES

Se demostró la efectividad del mucílago extraído de una planta endémica *Opuntia wentiana* (Britton & Rose-Cactaceae) no tóxica, en la clarificación de aguas de alta turbidez (100-200 UNT), pudiéndose emplear como coagulante primario en las plantas de tratamiento de aguas potables del país, ya que los valores de remoción en general superan el 70%.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES), a la Oficina de Planificación del Sector Universitario (OPSU), a los profesores Miguel Ángel Pietrangelli y Ángel Villarreal de la Facultad Experimental de Ciencias y a la Hidrológica del Lago (HIDROLAGO).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendárez, N. (2004). Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del lago de Managua Piedras Azules. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 5(1): 46-54.
- Arias, F. (1999) El proyecto de Investigación. Guía para su elaboración. Caracas: Editorial Episteme.
- Badillo, V., Schnee, L. & Benítez, C. (1985). Clave de las familias de plantas superiores de Venezuela. Caracas: Espasandre, S.R.L. Editores.
- Barrenechea, A. (2004) Tratamiento de agua para consumo humano. Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. CEPIS/OPS. Tomo I. Lima. 1-304. Recuperado de: http://www.cepis.ops_oms.org/brsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/cuatro.pdf.
- 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. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 41(2): 244-254.
- Clesceri, L., Greenberg, A. & Eaton, A. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th Edition. American Public Health Association. USA
- Devia, J. (2003). Proceso para producir pectinas cítricas. *Revista Universidad EAFIT*. 129: 21-30.
- Doudelet, A. (1981). Estudio de las aguas minerales. *Geotermia*. 4: 5-28.
- Esquivel, P. (2004). Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima. *Agronomía Mesoamericana*. 15(2): 215-219.
- Fuentes, L., Contreras, W., Perozo, R., Mendoza, I. & Villegas, Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decápoda, Penaeidae) en el tratamiento de agua para consumo humano. *Multiciencias*. 8: 281-287.
- González, G., Chávez, M., Mejías, D., Mas y Rubí, M., Fernández, N. & León, G. (2006) Uso del exudado gomoso producido por *Samanea saman* en la potabilización de las aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. 29(1): 14-22.
- González, Y., Marcano, N., Mendoza, I. & Fuentes, L. (2009) Efectividad de una suspensión de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez. *Impacto Científico*. 4(2): 361-374.
- Goycoolea, F. & Cárdenas, A. Pectins from *Opuntia* spp.: A Short Review. Recuperado de <http://www.jpacd.org/V5P17-29pdf>.
- Henríquez, M., Pérez, J. Gascó, J., Rodríguez, O. & Prieto, A. (2009). Caracterización bioquímica preliminar de los principales componentes del mucílago del cardón dato *Stenocereus griseus* (Haw.) F. Buxb. *Rev. Unell. Cienc. Téc.* 27: 95-102.
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E. & Fernández, N. (2003). Eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de las aguas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. 26(1): 27-33.
- Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G. & Díaz, A. (2000). Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de aguas. *Ciencia*. 8 (2): 243-254.
- Mendoza, I., Fuentes, L., Caldera, Y., Perdomo, F., Suárez, A., Mosquera, N. et al. (2008). Eficiencia de *Hyloceus lemairei* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. *Impacto Científico*. 3(1): 53-69.
- Merrit, F. (1992). Manual del Ingeniero Civil. México: Mc Graw Hill. Interamericana.
- Miller, S., Fugate, E., Oyanedel, V., Smith, J. & Simmerman, J. (2008). Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of *Opuntia* spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment. *Environmental Science & Technology*. 42(12): 4274-4279.
- Moreno, M., García, D., Belén, D., Medina, C. & Muñoz, N. (2008). Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia elatior* Miller (Cactaceae). *Rev. Fac. Agron.* 25(1): 68-80.
- 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.
- Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. (1998). *Gaceta Oficial de la República de Venezuela*, N° 36.395 del 13 de febrero de 1998.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W. & Okada, M. (1999). Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. *Water Research*. 33(15): 3373-3378.
- Padrón, C., Moreno, M. & Medina, C. (2008) Composición química, análisis estructural y factores antinutricionales de filocladios de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. Var. *hookeri* (Link & Otto). *Interciencia*. 33(6): 443-448.
- Padrón, C., Moreno, M. & Medina, C. (2008). Composición química, análisis estructural y factores antinutricionales de filocladios de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. Var. *hookeri* (Link & Otto). *Interciencia*. 33(6): 443-448.
- Romero, J. (2005) Calidad del agua. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rondeau, V., Commenges, D., Jacqmin, H. & Dartigues, J. (2000) Relation between Aluminum Concentrations in Drinking Water and Alzheimer's Disease: An 8-year Follow-up Study. *American Journal of Epidemiology*, 152 (1): 59-66.

Sánchez, S. & Untiveros, G. (2004). Determinación de la actividad floculante de la pectina en soluciones de hierro (III) y cromo (III). *Rev. Soc. Quím.* 70(4): 201-208.

Vera, A., Martínez, M., Ayala, Y., Montes, S. & González, A. (2009). Florística y fisonomía de un material xerófilo espinoso intervenido en Punta de Piedras, Municipio Miranda, Estado Zulia, Venezuela. *Revista de Biología Tropical.* 57(1): 271-281.

Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y. & Yang, H. (2006). A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry.* 41(3): 730-733.