

Impacto Científico

Revista arbitrada venezolana

del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago

ISSN: 1836-5042 ~ Depósito legal pp 200602ZU2811

Vol. 4 N° 2, Julio-Diciembre 2009, pp. 361 - 374

Efectividad de una suspensión de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez

**Yoalis González, Nailleth Marcano, Iván Mendoza
y Lorena Fuentes**

Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago, Dpto. de Ciencias Naturales, Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL), Cabimas, Venezuela. E-mail: yoalis_gonzalez@hotmail.com

Resumen

Para remover las partículas suspendidas que le confieren turbidez al agua, se emplean coagulantes de origen químico como el sulfato de aluminio, pero en diversos estudios ha sido comprobado que este compuesto deja un aluminio residual el cual relacionan con enfermedades neurodegenerativas como el mal de Alzheimer. Esta investigación tuvo como objetivo comprobar la efectividad de una suspensión de la cactácea *Opuntia ficus-indica* como coagulante en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez. Dicho estudio se realizó a escala laboratorio preparando aguas sintéticas a valores de turbidez inicial de 100, 120, 140, 160, 180 y 200 NTU, las cuales se caracterizaron fisicoquímicamente, resultando como dosis óptimas 450, 450, 350, 350, 450 y 350 ppm, respectivamente. Los resultados revelaron porcentajes de remoción de turbidez entre 91,39 y 96,02% antes de filtrar y entre 97,64 y 99,20% después de filtrar. El color tuvo una remoción entre 95,63 y 100% después del filtrado. El pH fluctuó entre 6,77 y 7,23 unidades y la alcalinidad presentó variaciones mínimas después de la aplicación del coagulante. Los parámetros evaluados se ubicaron dentro de los rangos exigidos por las Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable de Venezuela. Se demostró que una suspensión obtenida de cladodios de *Opuntia ficus-indica* es efectiva como

coagulante en la clarificación del agua y constituye un perfecto sustituto de coagulantes de origen químico como los utilizados actualmente.

Palabras clave: Clarificación del agua, coagulante natural, *Opuntia ficus-indica*, turbiedades altas, evaluación de parámetros fisicoquímicos.

The Effectiveness of an Opuntia ficus-indica (L.) Mill. (Cactaceae) Suspension for Clarifying High Turbidity Synthetic Water

Abstract

In order to remove suspended particles that make water turbid, chemical origin coagulants such as aluminum sulfate are employed; however, in several studies it has been found that this compound leaves an aluminum residue related to neurodegenerative illnesses, such as Alzheimer's disease. The objective of this study is to test the effectiveness of a suspension made from the cactus *Opuntia ficus-indica* as a coagulant in synthetic water with high turbidity. This study was performed in a to-scale laboratory by making synthetic water with initial turbidity values of 100, 120, 140, 160, 180 and 200 NTU, which were characterized physical/chemically, resulting in optimum doses of 450, 450, 350, 350, 450 and 350 ppm, respectively. Results showed turbidity removal percentages between 91.39 and 96.02% before filtering and between 97.64 and 99.20% after filtering. Color removal was between 95.63 and 100% after filtering. pH fluctuated between 6.77 and 7.23 units and the alkalinity presented minimum variations after coagulant application. The parameters evaluated were located within the required levels established by the Venezuelan Potable Water Quality Sanitary Norms. It was demonstrated that a suspension obtained from *Opuntia ficus-indica* cladodes is effective as a coagulant in water clarification and constitutes a perfect substitute for chemical origin coagulants, such as those currently in use.

Key words: Water clarification, natural coagulant, *Opuntia ficus-indica*, high turbidities, physical/chemical parameters assessment

Introducción

En el mundo, la contaminación del agua se ha venido incrementando con el pasar de los años, esto debido al mal uso que se le da a la misma. Los cuerpos de agua se han deteriorado cada vez más, se han vuelto

escasos y su disposición se ha convertido en un problema a nivel mundial. Es por ello que, previo a su utilización, es necesario que se someta a una serie de tratamientos, agregando agentes coagulantes para su clarificación, y aplicando procesos de filtración y desinfección, pues las partículas en suspensión que el agua presenta, como son los limos, arcillas y coloides sedimentan en un largo período de tiempo.

En el tratamiento del agua es importante la fase de eliminación de partículas suspendidas que le confieren turbidez y color, debido a que estas sustancias podrían dar lugar a numerosos inconvenientes, como por ejemplo, obstrucción de las tuberías, abrasión de equipos de tratamiento y desgaste de materiales, entre otros (Marín, 2005).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (AÑO), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) y estará idealmente por debajo de 1 NTU. Las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (1998), también estipulan los rangos aceptables para los parámetros físico-químicos del agua, donde se establece para el pH un valor deseable entre 6,5 y 8,5; para el color 5 UCV (Unidades de Color Verdadero) y un valor máximo aceptable de 15 UCV.

Para que estos parámetros se encuentren dentro de los rangos exigidos, es necesaria la adición de productos químicos (coagulantes). Actualmente, el más utilizado es el sulfato de aluminio, sin embargo diversas investigaciones del área médica encontraron un inesperado vínculo entre el sulfato de aluminio y el Mal de Alzheimer, por lo que las autoridades sanitarias exigen que el agua potable no presente cantidades mayores a 50 microgramos por litro (Fernández, 1994). Cabe destacar que la tasa de mortalidad de esta enfermedad en Venezuela entre los años 1988–1998 ha tenido un crecimiento progresivo en personas de 70 años en adelante (Mohamad y col., 2002). Tomando en cuenta esta información y dado los altos volúmenes de agua con trazas de aluminio que se consumen en un país tropical como Venezuela, se pudiera considerar que existe alguna relación entre estos dos factores.

Con la finalidad de sustituir el sulfato de aluminio, se han estudiado coagulantes naturales, tanto de origen vegetal como animal. Esto con el propósito de aportar soluciones viables inocuas para la salud humana y de aplicar un proceso de potabilización más económico y efectivo.

Una gran variedad de coagulantes de origen natural han sido estudiados y se ha demostrado su eficiencia en el tratamiento de agua para consumo humano. Entre éstos se encuentran las semillas de la especie *Moringa oleifera*, la cual ha sido efectiva en la potabilización de aguas con baja y alta turbidez, logrando remover la turbidez hasta 94,30% (Okuda y col., 1999; Mendoza y col., 2000; Caldera y col. 2007).

También se ha estudiado el uso de diversas cactáceas en la potabilización el agua, tales como el cardón de Lefaria (*Cereus deficiens*), el cual han aplicado en aguas sintéticas de baja y alta turbidez, obteniendo hasta 90% de remoción de turbidez (Martínez y col., 2003); *Hylocereus lemairei* (Mendoza y col., 2008), utilizado en aguas crudas sintéticas a turbiedades iniciales de 30, 40, 50, 60 y 70 NTU en las que evaluaron los parámetros físicoquímicos (turbidez, color, pH y alcalinidad) y obtuvieron dosis óptimas (218, 437, 873 y 1090 ppm) y porcentajes de remoción de turbidez (94,53-98,20%) con valores aceptables conforme a las Normas de Calidad de Agua Potable; *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb., con el cual se obtuvieron resultados de remoción de turbidez entre 83,35 y 95,68 % (Castro y col. 2007); el polímero natural "Cochifloc" extraído de la tuna *Opuntia cochinellifera*, el cual se utilizó como coagulante en aguas del Lago de Managua "Xolotlán" y se obtuvieron resultados satisfactorios (63% de remoción de turbidez sin corrección de pH y 91% con pH corregido) (Almendárez, 2004).

Con respecto a coagulantes de origen animal, Fuentes y col. (2008) obtuvieron quitosano por medio de un proceso de desacetilación a partir de los exoesqueletos del camarón *Litopenaeus schmitti*. El producto obtenido (quitosano) disuelto en ácido acético se empleó como coagulante en aguas crudas sintéticas y se obtuvieron valores permisibles conforme a las normas establecidas.

Con la presente investigación, se pretendió dar a conocer una nueva alternativa en el área de coagulantes naturales, a fin de lograr que el proceso de potabilización de las aguas sea más sencillo y que el coagulante sea de fácil obtención sin acarrear mayores costos. Además, que puede ser aprovechado de forma rudimentaria en zonas donde los pobladores no dispongan de plantas de potabilización del agua. Este coagulante es la cactácea denominada vulgarmente tuna España o tuna española (*Opuntia ficus-indica*), la cual es endémica de México y se encuentra distribuida en diversos ecosistemas venezolanos. Este género es bastante

extenso y abarca muchas especies de diversos tamaños. Particularmente, la tuna *O. ficus-indica* es carnosa, puede llegar a tener hasta 5 m de altura, su tallo es de color castaño oscuro, verde o gris; como la mayoría de las especies de éste género carece de hojas nomófilas, los segmentos son tallos capaces de ramificarse, emitiendo flores y frutos ovales y de color verde medio de 8 a 60 cm de largo que presentan por lo general, pequeñas espinas (Reyes y col. 2005).

Existen más de 300 especies de tuna, pero para consumo sólo se utilizan 12. La tuna *O. ficus-indica* es la única que se cultiva para consumo humano y animal. Aunado a su importancia como alimento, está también su uso medicinal y como fuente de pigmentos (Anaya, 2003), lo cual pone de manifiesto que esta cactácea no posee ningún grado de toxicidad. Su cultivo se realiza en tierras poco fértiles y con escasez de agua. Se utiliza ampliamente para la preparación de mermeladas, licores y jugos.

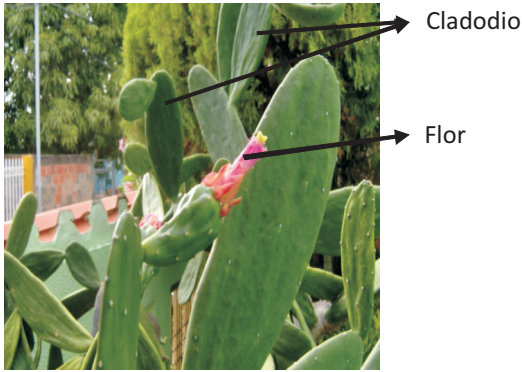
Por ello, debido al potencial coagulante de diversas especies de origen natural, se consideró conveniente evaluar la efectividad de una suspensión de la tuna *Opuntia ficus-indica* en la clarificación de aguas sintéticas con alta turbidez.

Metodología

Procesamiento de *Opuntia ficus-indica*

La selección de los cladodios de *O. ficus-indica* (Figura 1) se realizó tomando en cuenta el grosor y tamaño de los mismos, que su superficie fuera totalmente lisa y sin ningún tipo de deterioro. La recolección de la planta se realizó en el municipio Cabimas, Edo. Zulia (Venezuela) y posteriormente, se trasladaron al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL).

Una vez recolectados los cladodios, se procedió a lavarlos muy bien, se les retiró la epidermis y se separó el mesófilo. Se cortó en trozos pequeños para someterlos a un licuado durante 5 segundos hasta obtener una mezcla mucilaginoso. Es importante tomar en cuenta el tiempo de licuado, ya que el mismo puede afectar sus propiedades como coagulante. Se preparó una suspensión al 50% m/v, concentración que se determinó a partir de ensayos preliminares en los cuales se observó mayor remoción de turbidez y color.

Figura 1. Cladodios y flor de *Opuntia ficus-indica*.

A partir de la suspensión de *O. ficus-indica* preparada se seleccionaron dosis de 250, 350, 450, 550 y 650 ppm. También se utilizó una muestra como testigo para cada valor de turbidez en estudio, con el propósito de realizar las comparaciones una vez realizados cada uno de los ensayos.

Simulación del proceso de potabilización de aguas

Para efectos del desarrollo experimental, se preparó un modelo de agua turbia por la adición de caolín bajo el agua del grifo, según la metodología presentada por Okuda y col. (2001), que consistió en pesar 10 gramos de caolín y diluirlos en un litro de agua destilada; posteriormente, se agitó durante 1 hora y la solución obtenida se dejó en reposo por 24 horas para la hidratación de las partículas. Transcurrido este tiempo, el sobrenadante fue cuidadosamente retirado y almacenado en un recipiente de plástico.

La suspensión de caolín se adicionó a volúmenes de agua hasta obtener agua sintética con valores de turbidez de 100, 120, 140, 160, 180 y 200 NTU, color inicial entre 300 y 400 UC, alcalinidad de 23,3 a 34,7 mg/L CaCO_3 y pH de 7,01 a 7,28 unidades. Las muestras de agua a turbiedades indicadas se colocaron en el test de jarras con el fin de reproducir a escala laboratorio las condiciones en las cuales se llevan a cabo las fases de coagulación-floculación y sedimentación en una planta de tratamiento de aguas.

El test de jarras consta básicamente de agitadores de velocidad variable que puede crear turbulencia en 6 vasos simultáneamente, es decir, este equipo Para realizar el ensayo se procedió a llenar cada vaso de precipitado con un litro de agua cruda sintética y se colocaron las muestras en un test de jarras modelo JLT6 (Leaching Test Digital), iniciando un mezclado rápido de 100 rpm durante 1 minuto (coagulación), un mezclado lento de 30 rpm durante 20 minutos (floculación) y una fase sin mezclar (0 rpm) durante 30 minutos (sedimentación). El número de revoluciones por minuto, así como el tiempo de agitación fue controlado con un sistema digital incluido en el equipo. Dichos ensayos se realizaron a una temperatura aproximada de $20^{\circ}\text{C} \pm 1$.

Finalizado el tiempo se sedimentación, se tomó cuidadosamente una alícuota del sobrenadante en cada uno de los vasos para efectuar la medición de los parámetros fisicoquímicos. Dicho proceso se realizó por triplicado para cada valor de turbidez antes y después de filtrar (APHA y col. 1998).

Medición de parámetros fisicoquímicos

Para determinar la turbidez en las muestras de agua sintética se empleó un turbidímetro Micro 100, calibrado con soluciones estandarizadas de formazina (1000; 10,0 y 0,02 NTU). La medición del pH se efectuó con un potenciómetro modelo Orion 3 Star que se calibró con soluciones buffer de 4,01 y 7,00 en la escala de pH. Para la determinación del color se utilizó un colorímetro Orbeco-Hellige el cual cuenta con tres discos comparadores de platino-cobalto de diferentes escalas que permiten registrar valores de color desde 0 UC hasta 100 UC. Para este estudio, el color inicial de las muestras de agua fue superior a 100 UC, por lo que se usó una porción de muestra diluida con agua destilada (Vargas, 1984) y se aplicó un factor de dilución. La determinación de la alcalinidad se realizó de manera indirecta por titulación de las muestras con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,02 N, utilizando como indicador una solución alcohólica de anaranjado de metilo.

Resultados y Discusión

Al caracterizar el agua sintética en cuanto a los parámetros fisicoquímicos (turbidez, pH, color y alcalinidad) antes de simular las fases de coagulación-floculación y sedimentación, se determinó en las muestras que el parámetro pH osciló entre 7,01 y 7,28 unidades, intervalo aceptable según las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela, las cuales indican que el pH se debe mantener entre 6,5 y 8,5 unidades; el color presentó valores no permisibles (300 a 400 UC), pues según las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela, este parámetro tiene un valor máximo permitido de 15 UC; y la alcalinidad se ubicó en valores menores a 50 mgCaCO₃/L, los cuales se consideran permisibles, ya que las normas establecen un máximo de 140 mg CaCO₃/L (Doudelet, 1981) (Tabla 1).

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua sintética antes de la adición de la suspensión coagulante

Turbidez (NTU)	pH	Color (UC)	Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)
100	7,07	300	23,30
120	7,05	400	26,00
140	7,27	400	25,30
160	7,28	400	23,30
180	7,01	400	34,70
200	7,02	400	32,00

Evaluación del parámetro turbidez

Los resultados obtenidos después de la utilización de la suspensión de *O. ficus-indica* como coagulante para cada valor de turbidez en estudio (Tabla 2), permitieron establecer para una turbidez inicial de 100 NTU porcentajes de remoción de turbidez entre 92,12 y 93,78% antes de filtrar, y una dosis óptima de 350 ppm. Después del filtrado, se obtuvo un porcentaje de remoción de turbidez máximo de 98,79% equivalente a una turbiedad de 1,21 NTU, cumpliendo de esta manera con el valor máximo

aceptable por la norma (5 NTU). Los resultados obtenidos en este estudio para este valor de turbidez inicial, son superiores a los valores reportados en otros estudios (Mendoza y col., 2000; Caldera y col., 2007) al utilizar las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante (94,3%). También son similares a los reportados por Mendoza y col., (2008), quienes al emplear la cactácea *Hylocereus lemairei* como coagulante, obtuvieron porcentajes de remoción de turbidez entre 94,53 y 98,20%.

Para una turbidez inicial de 120 NTU, el coagulante se comportó de manera similar a las muestras con turbiedad inicial de 100 NTU; sin embargo, los porcentajes de remoción son ligeramente superiores antes de filtrar (máximo 94,54%) y después de filtrar (máximo 98,88%), en comparación con los obtenidos a 100 NTU. En este caso, se determinó una dosis óptima de 450 ppm. Por otra parte, para una turbidez inicial de 140 NTU, se observó una mayor efectividad del coagulante, pues los porcentajes de remoción están por encima del 90%, siendo la dosis óptima 350 ppm. Cabe destacar que luego del proceso de filtrado el porcentaje de remoción se ubicó en 99,05%.

Para una turbidez inicial de 160 NTU, se reflejan porcentajes de remoción alrededor del 95%, registrándose un rango de turbidez de 7,94 a 9,3 NTU antes de filtrar, estableciéndose una dosis óptima de 350 ppm. Después de filtrar se alcanzó una turbidez de 1,47 NTU, equivalente a un 99,09% de remoción. Estos resultados indican que mientras más alta es la turbidez, más eficiente es el coagulante, tal como lo refiere Caldera y col., (2007).

Los resultados mencionados anteriormente, utilizando *O. ficus-indica* como coagulante, indican un alto porcentaje de remoción de turbidez, siendo éste más elevado que los registrados al aplicar coagulantes como *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. (83,35-95,68%) (Castro y col., 2007) y *Cactus Lefaria* (80-90%) (Martínez y col., 2003).

La efectividad del coagulante *O. ficus-indica* para turbiedades de 180 y 200 NTU fue muy similar, ya que en ambos casos se registró una dosis óptima de 450 ppm, obteniendo altos valores de remoción de turbidez antes de la filtración (máximo 96,02%) y después de la misma (máximo 99,20%), lo cual demuestra que la suspensión del coagulante estudiado es altamente eficiente para la clarificación del agua, ya que los resultados obtenidos se encuentran dentro de las especificaciones.

Tabla 2. Turbiedades, dosis óptimas y porcentajes de remoción de turbidez de aguas sintéticas tratadas con una suspensión de *Opuntia ficus-indica*

Turbidez inicial (NTU)	Dosis óptima del coagulante (ppm)	Turbidez antes de filtrar (NTU)	Remoción de turbidez antes de filtrar (%)	Turbidez después de filtrar (NTU)	Remoción de turbidez después de filtrar (%)
100	350	6,22	93,78	1,23	98,77
120	450	6,55	94,54	1,47	98,78
140	350	6,91	95,03	1,32	99,05
160	350	7,94	95,07	1,47	99,09
180	450	7,20	96,02	1,64	99,09
200	450	8,27	95,89	1,85	99,08

Los porcentajes de remoción de turbidez registrados mediante la aplicación de *O. ficus-indica*, también son mayores a los conseguidos con la aplicación de polímeros de origen natural como el "Cochifloc" (Almendárez, 2004), con el cual consiguió eliminar hasta un 91% la turbidez manteniendo un control de pH. En cuanto a polisacáridos de origen animal, se encuentra el quitosano obtenido de *Litopenaeus schimitti* (Fuentes y col., 2008), con el cual se obtuvieron porcentajes de remoción de 89,48% antes del filtrado y 99,63% después del filtrado, siendo este último porcentaje ligeramente superior a los obtenidos en este estudio, lo cual pone de manifiesto que los coagulantes de origen natural pueden ser perfectos sustitutos de coagulantes de origen químico tradicionalmente utilizados como el $Al_2(SO_4)_3$.

Evaluación del parámetro pH

Los valores obtenidos para las distintas dosis aplicadas del coagulante antes y después de filtrar son aceptables, ya que el mínimo registrado fue de 6,78 y el máximo de 7,23. Esto indica que al aplicar el coagulante no se altera este parámetro y se cumple con las Normas de Calidad del Agua de Venezuela, de acuerdo con las cuales el valor de pH debe oscilar entre 6,5 y 8,5 unidades.

El comportamiento del coagulante obtenido a partir de *O. ficus-indica* se asemeja al del Cochifloc: biopolímero obtenido de *Opuntia cochinellifera*, empleado como coagulante en muestras de agua con y sin corrección de pH, el cual permitió obtener valores de remoción de turbidez mucho más aceptables al mantener el pH a un valor de 7,00 (Almendárez, 2004).

Evaluación del parámetro color

Las muestras de agua sintética, debido a las altas turbiedades, presentaron valores de color muy altos (300-400 UC), lo cual le confiere mal aspecto. Para este parámetro la norma establece un máximo aceptable de 15 UC y mediante la utilización de *O. ficus-indica* se logró remover el color hasta un 100% en las aguas. El coagulante disminuyó significativamente las unidades de color.

Para una turbidez inicial de 100 NTU y al aplicar una dosis de 350 ppm de la suspensión coagulante, se obtuvo una remoción de 96,67% antes de filtrar y de 100% después de filtrar. Con una turbidez inicial de 120 NTU el coagulante removió 98,75% de color antes de filtrar y 99,38% después del filtrado, equivalentes a 5 y 2,5 UC, respectivamente. Para turbiedades de 140 y 160 NTU con una dosis de 250 ppm se obtuvieron valores de 12,5 UC antes de filtrar y de 5 UC después de filtrar. A una turbidez de 180 NTU y un color inicial de 400 UC, el tratamiento logró disminuir este parámetro a 10 UC antes de filtrar y a 5 UC después del filtrado. Para una turbiedad de 200 NTU y un color inicial de 400 UC, se removió 96,88% antes del filtrado y 98,13% después del mismo.

Los resultados obtenidos para cada valor de turbidez en estudio evidencian la efectividad de la suspensión de *O. ficus-indica* en la remoción de color, ya que sin llevar a cabo la filtración se alcanzaron valores por debajo de lo establecido en la normativa (Tabla 3).

Los resultados obtenidos al aplicar el coagulante *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb, superan los reportados por Castro y col., (2007), quienes registraron entre 15 y 40 UC antes de filtrar y menos de 15 UC después de filtrar. También se encuentran por encima de los obtenidos por Mendoza y col. (2008), pues para valores iniciales de color entre 5 y 20 UC, indicaron una remoción de 85% y un valor mínimo de 3 UC después de filtrar aguas tratadas con el coagulante obtenido de la cactácea *Hylocereus lemairei*.

Tabla 3. Color de aguas sintéticas tratadas con una suspensión de *Opuntia ficus-indica*

Turbidez (NTU)	Sin Filtrar (SF) Filtrado (F)	Valores de Color (UC) para cada dosis de coagulante aplicado					Patrón
		250 ppm	350 ppm	450 ppm	550 ppm	650 ppm	
100	SF	12,50	10,00	12,50	12,50	12,50	300
	F	2,50	0	2,50	2,50	2,50	250
120	SF	10,00	7,50	5,00	7,50	7,50	400
	F	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	350
140	SF	12,50	15,00	15,00	15,00	17,50	400
	F	5,00	7,50	7,50	7,50	7,50	350
160	SF	12,50	12,50	12,50	12,50	12,50	400
	F	5,00	5,00	7,50	5,00	5,00	350
180	SF	17,50	10,00	10,00	12,50	20,00	400
	F	7,50	5,00	5,00	5,00	7,50	350
200	SF	20,00	15,00	17,50	15,00	12,50	400
	F	7,50	7,50	10,00	7,50	7,50	350

Evaluación del parámetro alcalinidad

En general, el parámetro alcalinidad no presentó grandes variaciones, se registraron valores menores de 40 mgCaCO₃/L, los cuales se ubicaron dentro de lo permisible, ya que éste es aceptable hasta 140 mg CaCO₃/L (Doudelet, 1981).

En cada uno de los ensayos realizados se observó la alta efectividad que posee *O. ficus-indica* como coagulante natural en la clarificación del agua, ya que con todas las dosis aplicadas a las muestras de agua con elevada turbidez inicial, se lograron remover eficientemente la turbidez y el color, manteniendo el pH y la alcalinidad en valores totalmente aceptables por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (1998). Dado que todas las dosis aplicadas permitieron obtener excelentes resultados en cada uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados (pH, turbidez, color y alcalinidad), el coagulante *O. ficus-indica* supera notablemente a otros coagulantes de origen natural descritos anteriormente.

Conclusiones

Se demostró la efectividad de una suspensión de la cactácea *O. ficus-indica* como coagulante natural en la clarificación de aguas sintéticas con altos valores de turbidez (100, 120, 140, 160, 180 y 200 NTU) y el mantenimiento de los parámetros pH, color, turbidez y alcalinidad dentro de lo establecido en las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela al aplicar el coagulante mencionado.

Tomando en cuenta el nivel de toxicidad del aluminio residual presente en las aguas para consumo humano, resulta factible el uso de *O. ficus-indica* para tratar el agua, ya que la misma no ocasiona ningún riesgo a la salud pública. Aunado a esto, se debe tomar en cuenta que esta cactácea es la de mayor importancia económica en el mundo, cultivándose en varios países como fuente principal de alimento, motivo por el cual resulta viable la sustitución de compuestos químicos por coagulantes de origen natural como el que se empleó en este estudio.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico y Tecnológico de la Universidad del Zulia (CONDES) y a la Oficina de Planificación del Sector Universitario (OPSU), por la dotación de los equipos necesarios para la ejecución de esta investigación. Al Ing. Juan Morillo, quien identificó la especie vegetal empleada en este estudio.

Referencias Bibliográficas

- Almendárez N. (2003). Comprobación de la Efectividad del Coagulante (*Cochifloc*) en aguas del Lago de Managua. Piedras Azules. **Revista Iberoamericana de Polímeros**. 5 (1), 46-53.
- Anaya M. (2003). **Historia del uso de Opuntia como forraje en México**. Querétaro: Candelario Mondragón-Jacobo.
- APHA-AWWA-WEF. (1998). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition.
- Caldera, Y.; Mendoza, I., Briceño, L., García, J. y 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.

- Castro, M.; López, A., Urdaneta, C. (2007). El *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. como coagulante natural en la potabilización de las aguas. Trabajo de grado para optar al Título de Ing. Civil. Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago.
- Doudelet, A. (1981). Estudio de las aguas minerales. **Geotermia** 4 (1), 5-28.
- Fernández, R. (1994). El marango: varita mágica en el agua. (documento en línea). Disponible en: www.envio.org.ni/articulo/862 (consulta: 2009, octubre 23).
- Fuentes, L.; Contreras, W.; Perozo, R.; Mendoza, I. y Villegas, Z. (2008). Uso del quitosano obtenido de *Litopenaeus schmitti* (Decapoda, Penaideae) en el tratamiento de agua para consumo humano. **Multiciencias** 8 (Nº Extraordinario), 281-287.
- Gaceta Oficial de La República de Venezuela Nº 36.395 SG-018-98 (1998). Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable.
- Marín, R. (2003). **Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas**. Madrid- España. Ediciones Díaz de Santos. p.p. 311.
- Martínez, D.; Chávez, M.; Díaz, A.; Chacín, E. y Fernández, N. (2003). Eficiencia del *Cactus lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. **Revista Técnica de Ingeniería** 26 (1), 27-33.
- Mendoza, I.; Fernández, N.; Ettiene, G. y 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. y Arismendi, H. (2008). Eficiencia de *Hylocereus lemairei* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano. **Impacto Científico** 3 (1), 53-69.
- Mohamad, H.; Alfonso, C. y Avilan, J. (2002). Tasa de mortalidad específica, según género y edad, de la enfermedad de Alzheimer en Venezuela. (documento en línea). Disponible en: www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0367-47622002000400008&lng=es&nrm=iso. ISSN 0367-4762. (consulta: 2009, octubre 23).
- 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.
- Okuda, T.; Baes A.; Nishijima, W. y Okada, M. (2001). **Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds**. Department of environmental science, Faculty of Engineering, Hiroshima University 1-4-1 Kagamiyama, Higashi – Hiroshima, 739-8527, Japan.
- Organización Mundial de la Salud (2006). Guías para la Calidad del Agua Potable [Recurso Electrónico]. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera Edición. p.p. 398.
- Reyes, J.; Aguirre, J. y Hernández, H. (2005). Notas sistemáticas y descripción detallada de la *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactaceae). **Agrociencia** 39(004), 395-408.
- Vargas, L. (1984). **Manual de laboratorio para análisis de agua**. Universidad del Zulia. Maracaibo - Venezuela.