

## Effectiveness of a coagulant extracted from *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb in water purification

**Lorena del C. Fuentes S.\***, Iván A. Mendoza S., Angela M. López M.,  
María F. Castro V., Carlos J. Urdaneta M.

Programa Ingeniería, Universidad del Zulia, Núcleo Costa Oriental del Lago,  
Cabimas 4013, Venezuela. Fax: (0264) 2414087. Teléfono: (0264) 2400030.

\*lfuentesp@hotmail.com

### Abstract

The coagulation causes suspended material coalescence, which generally is done by adding chemical substances to the water. Nevertheless, since some of these substances have been associated to health problems, several researchers study as an alternative natural coagulants obtained from vegetables species. For this reason, it was evaluated the effectiveness of a coagulant extracted from the cactus *Stenocereus griseus* in water purification. For this, there were collected samples of natural crude water at the treatment plant of Pueblo Viejo (Zulia state, Venezuela) and from them they were prepared diluted waters with initial turbidity of 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100 NTU. These waters were treated with different doses (300, 400, 500, and 600 ppm) of natural coagulant. pH, turbid, color, and alkalinity parameters were evaluated in the crude and treated waters. After the coagulant optimum dose was applied (300, 400, 500, and 600 ppm), turbidity removal percentages oscillated between 14.50 and 80.42% before purification simulation and between 69.27 and 96.46% after it. This demonstrated the effectiveness of the coagulant extracted from *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. in water purification.

**Key words:** water purification, natural coagulant, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb., Cactaceae.

## Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua

### Resumen

La coagulación causa la coalescencia de material suspendido, lo cual generalmente se logra adicionando sustancias químicas al agua. Sin embargo, dado que algunas de estas sustancias se han asociado a problemas de salud, diversos investigadores estudian como alternativa coagulantes naturales obtenidos de especies vegetales. Por esta razón, se evaluó la efectividad de un coagulante extraído del cardón *Stenocereus griseus* en la potabilización 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 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 NTU. Estas aguas fueron tratadas con diferentes dosis (300, 400, 500 y 600 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 (300, 400, 500 y 600 ppm), los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 14,50 y 80,42% antes de la simulación de la filtración y entre 69,27 y 96,46% luego de ello. Esto demostró la efectividad del coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización de agua.

**Palabras clave:** potabilización del agua, coagulante natural, *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb., cactácea.

## Introducción

Las aguas crudas naturales deben ser sometidas a diversos tratamientos (potabilización) con la finalidad de que sean aptas para el consumo humano. Estos tratamientos pueden contemplar las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, entre otros.

Específicamente, la coagulación es utilizada para causar la coalescencia o agregación de material suspendido no sedimentable (partículas coloidales) del agua. En esta fase se reducen las fuerzas de repulsión existentes entre coloides para generar agregados de mayor tamaño. Esto generalmente se logra al adicionar sustancias químicas al agua que permiten la formación de un floculo que sedimenta fácilmente [1].

El empleo de sustancias químicas como  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  [1] y  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  [2], entre otras, se ha generalizado en las plantas de tratamiento de aguas, usando con preferencia el  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ . Pero, 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* [4-7] y de la familia Cactaceae, como *Cereus deficiens* (conocido comúnmente como cactus o cardón lefaria) [8] y *Opuntia cochinellifera* [9], entre otras.

El orden Cactales, representado en Venezuela por una sola familia (Cactaceae) agrupa casi exclusivamente plantas de tallo suculento, distribuidas generalmente en zonas xerófilas [10], las cuales no son utilizadas con frecuencia en las investigaciones como coagulantes para la potabilización de aguas. Una de las cactáceas que más abunda en Venezuela es *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb., denominado cardón dato, cardón guajiro o yosú. Éste es un cactus columnar que puede alcanzar hasta 11 m de altura que ha sido usado desde hace mucho tiempo por indígenas de la etnia Wayúu (Colombia y Venezuela) para la construcción de viviendas, la recolección de frutos y de cladodios para consumo y la acumulación de tallos jóvenes para pastoreo de cabras y cercado de corrales. Sin embargo, con menos frecuencia estos tallos son también utiliza-

dos como juguetes y como floculante del cieno del agua de lluvia que llena los jagüeyes [11]. Las cactáceas comestibles se pueden clasificar en tres tipos: las tunas, las pitayas (trepadoras) y las pereskias (columnares). Entre estas últimas se menciona la especie *S. griseus* [12].

La idea de emplear cactáceas como coagulantes naturales [8, 9, 13, 14] 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 [3].

En términos de las aplicaciones de *S. griseus* en el tratamiento de aguas, existen referencias [11, 14, 15] de su utilización empírica no sólo por la etnia Wayúu, sino también por habitantes de la Costa Oriental del Lago (estado Zulia) y del Estado Falcón, en Venezuela.

Las cactáceas en general presentan mucílagos, algunas veces denominados pectinas, las cuales han sido determinadas para algunas especies de éstas [16, 17]. Particularmente, la composición del mucílago de *Stenocereus griseus* (Haw.) F. Buxb. es ramnosa (5,7%), arabinosa (5,0%), galactosa (25,6%) y ácidos urónicos (11,4%) en la fracción soluble; y ramnosa (6,0%), arabinosa (15,4%), galactosa (44,7%) y ácidos urónicos (17,1%) en la fracción insoluble del mucílago [18].

El propósito de este estudio fue evaluar la efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización del agua. Los coagulantes naturales como éste tienen ventajas adicionales por su fácil obtención, los bajos costos y su biodegradabilidad [5].

## Materiales y métodos

### Recolección de muestras de agua y preparación de aguas diluidas

El agua cruda se recolectó en el tanque de almacenamiento de la Planta de Tratamiento Pueblo Viejo (municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia, Venezuela), aplicando un muestreo no probabilístico [19]. 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 de la planta de tratamiento (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 (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 NTU), se diluyeron las muestras de agua cruda con agua del grifo, pues las primeras presentaron turbiedades muy altas durante la época de recolección de las mismas (estación lluviosa). Las variaciones 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

Los especímenes de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. a partir de los cuales se extrajo el coagulante, fueron recolectados en el sector El Zamuro de la Costa Oriental del Lago (Municipio Santa Rita, Estado Zulia, Venezuela). Se eliminó la epidermis de fragmentos de tallos de *S. griseus* y se separó el tejido parenquimatoso, ubicado entre el cilindro sólido o protostela y la epidermis (Figura 1). Este parénquima se licuó durante 48 segundos, se separó la fase sólida de la acuosa con ayuda de un lienzo de gasa, se determinó la masa de la fase acuosa por gravimetría (diferencia de masas de las fases sólida y acuosa) y se agregó en agua destilada para obtener una mezcla heterogénea mucilaginoso, de aproximadamente 50% m/v.

### Simulación del proceso de coagulación-floculación, sedimentación y filtración

Las muestras de agua en estudio (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 NTU) 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, do-

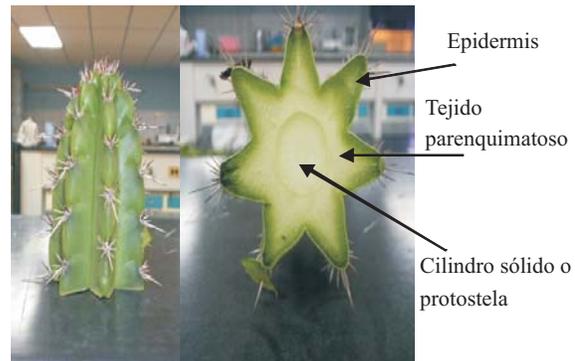


Figura 1. Corte transversal de un tallo de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb.

sis de coagulante, pH, color, turbidez y alcalinidad [4, 20]. Se aplicaron las dosis de la mezcla mucilaginoso (300, 400, 500 y 600 ppm) y se simularon 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 (edo. Zulia, Venezuela). Los ensayos se realizaron a 25°C. La filtración se realizó en embudos de vidrio con papel de filtro grado cualitativo, Double Rings, N° 102, 125 mm.

### Determinación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, color y alcalinidad) se evaluaron por duplicado 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 estandarizadas de formazina (1000 NTU, 10 NTU y 0,02 NTU). El pH se midió con un potenciómetro marca BOECO, modelo BT-500, 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 CaCO<sub>3</sub>/L [20].

## Resultados y Discusión

En las muestras de agua cruda los valores de pH variaron entre 6,25 y 6,81 unidades, siendo en todos los casos ligeramente ácidos, pero en general se ajustaron al rango señalado en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (6,5 a 8,5 unidades) [21]. La alcalinidad fluctuó de 17,3 a 30,66 mg CaCO<sub>3</sub>/L, intervalo que resultó dentro de lo permisible, ya que ésta es aceptable hasta 140 mg CaCO<sub>3</sub>/L [22]. La turbidez osciló entre 120 y 250 UNT, alejándose del máximo referido por las normas mencionadas (5 UNT). El valor del color varió en un intervalo de 30-100 UC Pt/Co, siendo 15 UC Pt/Co el valor más alto permitido [21] (Tabla 1).

Las aguas diluidas cumplieron con el estándar referido para la alcalinidad [22], pero el pH en algunos casos fue ligeramente ácido. Para el parámetro color se registraron valores superiores a lo señalado en las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela [21] (Tabla 2).

En las aguas con valores de turbidez inicial de 20, 30 y 40 UNT tratadas con la mezcla mucilaginoso obtenida del cardón *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. se observó que antes de la filtración el porcentaje de remoción de turbidez disminuye a medida que la dosis de coagulante aumenta. A una turbidez de 60 UNT se presenta un comportamiento similar, excepto cuando se aplica una dosis de 600 ppm. Para turbiedades iniciales de

Tabla 1  
Parámetros fisicoquímicos del agua cruda

Parámetros fisicoquímicos	Intervalo de valores iniciales
Turbidez (UNT)	120-250
Color (UC Pt/Co)	30-100
pH	6,25-6,81
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	17,3-30,66

50 y 70 UNT, en general, aumenta el porcentaje de remoción al aumentar la dosis de coagulante, excepto cuando se aplicó una dosis de 600 ppm, con la cual se obtuvo un descenso en el mismo (Tabla 3). Esto coincide con lo reportado en una investigación previa, en la que se señaló que el aumento de la concentración de un coagulante obtenido de *Samanea saman* provocó el descenso de la remoción de turbidez [23]. Dicho comportamiento puede ser explicado por el hecho de que la sobredosificación de coagulante puede conducir de nuevo a la estabilización, al quedar la superficie de las partículas saturada de polímero [24], eliminando los sitios vacíos e impidiendo la formación de los puentes poliméricos [1] con las partículas en suspensión.

Con niveles de turbidez inicial de 80, 90 y 100 UNT el porcentaje de remoción de ésta aumenta al incrementar la dosis del coagulante ex-

Tabla 2  
Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua diluidas

Turbidez (UNT)	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	pH	Color (UC Pt/Co)
20	17,30	6,48	30
30	22,00	6,65	30
40	30,66	6,45	30
50	22,00	6,25	50
60	22,60	6,25	70
70	18,66	5,90	80
80	19,32	6,81	100
90	25,63	6,86	100
100	18,66	6,86	100

Tabla 3  
Remoción de turbidez decantada (antes de filtrar) en muestras de aguas crudas diluidas tratadas con un coagulante obtenido de *Stenocereus griseus*

To (UNT)	Dosis 300 ppm	% R	Dosis 400 ppm	% R	Dosis 500 ppm	% R	Dosis 600 ppm	% R	Dosis óptima (ppm)	Patrón (UNT)
	17,09		19,60		20,60		20,30			19,90
20	17,10		19,50		21,80		20,10			19,50
$\bar{x}$	<b>17,10*</b>	14,50	<b>19,55</b>	2,25	<b>21,20</b>	0	<b>20,20</b>	0	300	<b>19,70</b>
S	<b>0,01</b>		<b>0,07</b>		<b>0,85</b>		<b>0,14</b>			<b>0,28</b>
	13,90		14,90		15,07		29,60			30,10
30	13,60		19,30		20,60		29,70			29,80
$\bar{x}$	<b>13,75*</b>	54,17	<b>17,10</b>	43,00	<b>17,84</b>	40,53	<b>29,65</b>	1,17	300	<b>29,95</b>
S	<b>0,21</b>		<b>3,11</b>		<b>3,91</b>		<b>0,07</b>			<b>0,21</b>
	14,70		22,30		29,70		33,60			38,50
40	19,30		28,20		29,60		31,90			38,20
$\bar{x}$	<b>17,00*</b>	57,50	<b>25,25</b>	36,88	<b>29,65</b>	25,88	<b>32,75</b>	18,13	300	<b>38,35</b>
S	<b>3,25</b>		<b>4,17</b>		<b>0,07</b>		<b>1,20</b>			<b>0,21</b>
	12,80		8,38		11,90		41,30			48,60
50	10,20		11,20		8,63		43,50			47,55
$\bar{x}$	<b>11,50</b>	77,00	<b>9,79*</b>	80,42	<b>10,27</b>	79,46	<b>42,40</b>	15,20	400	<b>48,08</b>
S	<b>1,84</b>		<b>1,99</b>		<b>2,31</b>		<b>1,56</b>			<b>0,74</b>
	20,60		22,30		42,50		34,60			59,17
60	19,60		19,50		41,90		27,10			58,09
$\bar{x}$	<b>20,10*</b>	66,50	<b>20,90</b>	65,17	<b>42,20</b>	29,67	<b>30,85</b>	48,58	300	<b>58,63</b>
S	<b>0,71</b>		<b>1,98</b>		<b>0,42</b>		<b>5,30</b>			<b>0,76</b>
	28,50		37,70		23,20		45,30			68,40
70	37,40		33,40		22,00		46,80			68,60
$\bar{x}$	<b>32,95</b>	52,93	<b>35,55</b>	49,21	<b>22,60*</b>	67,71	<b>46,05</b>	34,21	500	<b>68,50</b>
S	<b>6,29</b>		<b>3,04</b>		<b>0,85</b>		<b>1,06</b>			<b>0,14</b>
	43,30		39,10		29,80		27,70			78,30
80	44,80		33,60		32,50		27,70			78,10
$\bar{x}$	<b>44,05</b>	44,94	<b>36,35</b>	54,56	<b>31,15</b>	61,06	<b>27,70*</b>	65,38	600	<b>78,20</b>
S	<b>1,06</b>		<b>3,89</b>		<b>1,91</b>		<b>0,00</b>			<b>0,14</b>
	32,20		32,00		36,10		27,80			79,50
90	33,10		27,10		33,80		28,40			79,10
$\bar{x}$	<b>32,65</b>	63,72	<b>29,55</b>	67,17	<b>34,95</b>	61,17	<b>28,10*</b>	68,78	600	<b>79,30</b>
S	<b>0,64</b>		<b>3,46</b>		<b>1,63</b>		<b>0,42</b>			<b>0,28</b>
	53,90		48,60		30,20		35,10			89,10
100	60,50		54,30		38,50		35,30			92,70
$\bar{x}$	<b>57,20</b>	42,80	<b>51,45</b>	48,55	<b>34,35*</b>	65,65	<b>35,20</b>	64,80	500	<b>90,90</b>
S	<b>4,67</b>		<b>4,03</b>		<b>5,87</b>		<b>0,14</b>			<b>2,55</b>

To: Turbidez inicial. % R: Porcentaje de remoción de turbidez. Menor valor de turbidez: \*

traído de *S. griseus*, lo cual probablemente está asociado a que al aumentar los sólidos en suspensión se requiere más cantidad de coagulante, ya que los polímeros pueden presentar una concentración de coagulante óptima que depende del peso molecular y de la concentración de iones y sólidos en la suspensión [24].

Después de aplicar las dosis óptimas del coagulante (300, 400, 500 y 600 ppm), es decir,

aquellas concentraciones que permitieron obtener la mayor remoción de turbidez con la menor dosis, los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 14,50 y 80,42% antes de la filtración (Tabla 4) y entre 69,27 y 96,46% luego de ello (Tabla 5), demostrándose las propiedades como coagulante de la cactácea *S. griseus* y la importancia de la fase de filtración para lograr un óptimo proceso de potabilización.

Tabla 4

Valores de turbidez inicial, turbidez decantada, porcentaje de remoción de turbidez, pH, color y alcalinidad en muestras de aguas tratadas con *S. griseus*

To (UNT)	Dosis óptima (ppm)	Td	% R	pH	Color (Pt/Co)	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
20	300	17,10	14,50	7,02	25,00	19,93
30	300	13,75	54,17	6,60	20,00	19,92
40	300	17,00	57,50	6,61	15,00	27,90
50	400	9,79	80,42	6,70	25,00	25,91
60	300	20,10	66,50	5,64	15,00	14,94
70	500	22,60	67,71	5,80	30,00	24,91
80	600	27,70	65,38	6,68	25,00	22,00
90	600	28,10	68,78	7,03	20,00	10,57
100	500	35,20	64,80	6,48	20,00	13,00

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

Tabla 5

Valores de turbidez inicial, turbidez filtrada, porcentaje de remoción de turbidez, pH, color y alcalinidad en muestras de aguas tratadas con *S. griseus*

To (UNT)	Dosis óptima (ppm)	Tf	% R	pH	Color (Pt/Co)	Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)
20	300	3,53	82,35	6,64	5,00	16,94
30	300	9,22	69,27	6,81	5,00	18,93
40	300	3,86	90,35	6,42	7,50	25,91
50	400	1,77	96,46	6,98	15,00	20,93
60	300	7,27	87,88	5,97	5,00	22,92
70	500	9,43	86,53	6,17	10,00	18,93
80	600	10,55	86,81	6,50	17,50	14,01
90	600	12,15	86,50	6,92	12,50	18,00
100	500	11,20	88,80	6,86	15,00	23,00

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

Al aumentar la turbidez inicial, en general aumentó el porcentaje de remoción de la misma, pero se observó un incremento con respecto a la tendencia cuando se evaluó una turbidez inicial de 50 UNT (Tabla 4), lo cual posiblemente se debe a que la composición del mucílago cambió mejorando su eficiencia, pues ésta varía dependiendo de los factores edáficos en el sitio de cultivo, la estación, la edad de la planta, entre especies y variedades [15, 17].

Los valores de pH que se registran con el tratamiento antes (5,64-7,02) y después de filtrar (5,97-6,98), se mantienen por lo general ajustados a los permisibles en Venezuela (6,5 a 8,5 unidades) [21], a pesar de que en algunos casos el pH fue ligeramente ácido, lo cual puede estar asociado a que el pH del agua cruda también presentó en ocasiones valores menores a 6,5. Niveles de pH similares (6,5-8,5) se registraron al emplear un coagulante natural obtenido del cactus lefaria [8]. Por otra parte, los resultados del presente trabajo difieren de los señalados al utilizar Cochifloc, un polímero derivado de la cactácea *Opuntia cochinelifera*, con el cual el pH alcanzó hasta 9,14 unidades en aguas crudas, razón por la cual la investigadora tuvo que hacer una corrección, refiriendo valores de 63% de eliminación de turbidez en aguas con pH sin corregir y de 91% con pH corregido [9]. Aún cuando en esta investigación no se efectúa una corrección del pH a las aguas tratadas con el coagulante, la mayoría de los porcentajes de remoción de turbidez después de la filtración se ubican en el orden del 80%.

Los niveles de alcalinidad que se reportan para cada una de las dosis del coagulante muestran ligeras variaciones antes (10,57-27,90 mg CaCO<sub>3</sub>/L) y después de la fase de filtración (14,01-25,91 mg CaCO<sub>3</sub>/L), pero no superan el valor máximo permisible (140 mg CaCO<sub>3</sub>/L) referido por Doudelet [22] y se clasifica como una alcalinidad baja, ya que es menor de 75 mg CaCO<sub>3</sub>/L [25]. La norma venezolana no contempla la alcalinidad como parámetro de calidad en las aguas potables.

Con la mezcla mucilaginoso del cardón *S. griseus* se reducen los valores de color hasta 15-30 UC Pt/Co antes de la filtración y de 5-17,5 UC Pt/Co después de este proceso, cumpliéndose en general con el máximo aceptable establecido en las Normas de Calidad de Agua Potable de

Venezuela (15 UC Pt/Co) [21] y observándose altos valores de remoción antes (16,67- 80%) y después de filtrar (70-92,86%), si se comparan con los rangos de color para las aguas diluidas (30-100 UC Pt/Co). Se infiere que la mezcla coagulante en estudio también permite remover el color del agua tratada, pero resalta lo imprescindible de la fase de filtración para la remoción de sólidos suspendidos que no flocularon. Estos resultados son similares a los reportados al emplear un coagulante extraído de semillas de *M. oleifera*, con el cual se obtuvieron de 5 a 10 UC Pt/Co [7].

Hasta ahora se desconocen estudios en los cuales se hayan usado coagulantes extraídos de *S. griseus* para la potabilización de aguas. No obstante, se ha evaluado el efecto de diferentes suspensiones de cardón dato (*Stenocereus griseus*), cardón lefaria (*Cereus deficiens*), tuna española (*Opuntia ficus-indica*) y poliacrilamida sobre algunas propiedades físicas del suelo de Quíbor (estado Lara, Venezuela), reportándose como mejor acondicionador (floculante) la suspensión del cardón dato a una concentración de 4000 ppm [26].

A pesar de que el mecanismo de coagulación del mucílago de *S. griseus* aún se desconoce, las pectinas (denominación dada en algunas ocasiones a los mucílagos) han sido estudiadas como coagulantes-floculantes. Éstas se consideran polímeros de alto peso molecular para las cuales puede interpretarse como mecanismo de coagulación la formación de puente-partículas en el cual las moléculas del polímero pueden ser suficientemente largas y flexibles para ser adsorbidas sobre diversas partículas [24].

## Conclusiones

Se demostró la efectividad del coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (Haw.) Buxb. en la potabilización de agua con valores de turbidez inicial entre 20 y 100 UNT, pudiéndose emplear como coagulante primario en las plantas de tratamiento de aguas potables de Venezuela, ya que los valores de remoción en general superan el 70% y es una planta endémica de la zona. Sin embargo, se sugiere desarrollar otros estudios que permitan corroborar su inocuidad en el ser humano.

## Agradecimiento

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 de Ciencias y a la Hidrológica del Lago (HIDROLAGO).

## Referencias bibliográficas

1. Romero, J.: "Calidad del agua", Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, 2005.
2. Barrenechea, A. "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. (2004) 1-304. [http://www.cepis.ops\\_oms.org/brsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/cuatro.pdf](http://www.cepis.ops_oms.org/brsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/cuatro.pdf).
3. Rondeau, V., Commenges, D., Jacqmin-Gadda, H., Dartigues, J.: "Relation between Aluminum Concentrations in Drinking Water and Alzheimer's Disease: An 8-year Follow-up Study". American Journal of Epidemiology, Vol. 152, No. 1 (2000) 59-66.
4. Ndabigengesere, A., Narasiah, S., Talbot, B. "Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using *Moringa oleifera* seed". Water Research 29 (1995) 703-710.
5. Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., Okada, M.: "Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed". Water Research., Vol. 33, No. 15 (1999) 3373-3378.
6. Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., Díaz, A.: "Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de aguas". Ciencia, Vol. 8, No. 2 (2000) 243-254.
7. Caldera Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., Fuentes, L.: "Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua". Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, Vol. 41, No. 2 (2007) 244-254.
8. Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E., Fernández, N.: "Eficiencia del cactus lefaría para su uso como coagulante en la clarificación de las aguas". Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Vol. 26, No. 1 (2003) 27-33.
9. Almendárez, N.: "Comprobación de la efectividad del coagulante (Cochifloc) en aguas del lago de Managua Piedras Azules". Revista Iberoamericana de Polímeros, Vol. 5, No. 1 (2004) 46-54.
10. Badillo, V., Schnee, L., Benítez, C.: "Clave de las familias de plantas superiores de Venezuela", Espasandre, S.R.L. Editores, Caracas, 1985.
11. Villalobos, S., Vargas, O.; Melo, S.: "Uso, manejo y conservación de yosú, *Stenocereus griseus* (Cactaceae), en la Alta Guajira colombiana". Acta Biol. Colomb., Vol. 12, No. 1 (2007) 99-112.
12. Esquivel, P. "Los frutos de las cactáceas y su potencial como materia prima". Agronomía Mesoamericana. 15(2) (2004) 215-219.
13. Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y., Yang, H.: "A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment". Process Biochemistry, Vol. 41, No. 3 (2006) 730-733.
14. Mendoza, I., Fuentes, L., Caldera, Y., Perdomo, F., Suárez, A., Mosquera, N. y Arismendi, H. "Eficiencia de *Hylocereus lemairei* como coagulante-floculante en aguas para consumo humano". Impacto Científico, Vol. 3, N° 1 (2008) 53-69.
15. Retmal, N., Durán, J. and Fernández, J. "Seasonal variations of chemical composition in prickly pear (*Opuntia ficus-indica* (L) Miller)". Journal of Science of Food and Agriculture, 38 (1987) 303-311.
16. Moreno, M., García, D., Belén, D., Medina, C., Muñoz, N.: "Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia elatior* Miller (Cactaceae)". Rev. Fac. Agron. (LUZ), Vol. 25, No. 1 (2008) 68-80.
17. Padrón, C., Moreno, M. y Medina, C. "Composición química, análisis estructural y factores antinutricionales de filocladios de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. Var. *hookeri* (Link & Otto)". Interciencia. Vol. 33, N° 6 (2008) 443-448.
18. Henríquez-Rodríguez, M., Pérez, J., Gascó, J., Rodríguez, O. y Prieto, A. "Caracterización

- bioquímica preliminar de los principales componentes del mucílago del cardón dato (*Stenocereus griseus* (Haw.) F. Buxb". Rev. Unell. Cienc. Téc. 27 (2009) 95-102.
19. Arias, F.: "El proyecto de Investigación. Guía para su elaboración", Editorial Episteme, Caracas, 1999.
  20. APHA-AWWA-WEF: "Standard methods for the examination of water and wastewater", Edited by: Clesceri, L., Greenberg, A. and Eaton A., USA, 1998.
  21. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. N° 36.395 del 13 de febrero de 1998.
  22. Doudelet, A.: "Estudio de las aguas minerales". Geotermia, Vol. 4 (1981) 5-28.
  23. González, G., Chávez, M., Mejías, D., Mas y Rubí, M., Fernández, N., León, G.: "Uso del exudado gomoso producido por *Samanea saman* en la potabilización de las aguas". Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Vol. 29, N° 1 (2006) 14-22.
  24. Sánchez, S., Untiveros, G. "Determinación de la actividad floculante de la pectina en soluciones de hierro (III) y cromo (III)". Rev. Soc. Quím. Perú, Vol. 70, N° 4 (2004) 201-208.
  25. Merrit, F. "Manual del Ingeniero Civil". Mc Graw Hill. Interamericana editores, S.A: México, 1992.
  26. Henríquez, M., Montero, F., Rodríguez, O., Hernández, A.: "Efecto de diferentes suspensiones de cardón dato, cactus lefaria, tuna española y PAM sobre algunas propiedades físicas de un suelo de Quibor-Lara". Rev. Fac. Agron. (LUZ), Vol. 17 (2000) 295-306.

Recibido el 2 de Diciembre de 2009

En forma revisada el 6 de Diciembre de 2010