

Performance of *Cactus lefaria* to use like coagulating in the water clarification

Daimarys Martínez, Magaly Chávez, Altamira Díaz, Elsa Chacín y Nola Fernández

Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Apartado 526. Maracaibo, Venezuela. E-mail: nfernand@luz.ve

Abstract

In this investigation, the performance of *Cactus lefaria* as coagulating agent was evaluated for water clarification process. The experiment were run at lab scale, by preparing synthetic turbid waters with initial turbidity values from 20 to 150 NTU to compare with the waters which enter to the local treatment plant. The coagulation tests were performed to the raw cactus and cactus treated with methanol, ethyl acetate and petroleum ether. The parameters measured were turbidity, color and optima doses of coagulating agent determination. The results showed that the *Cactus lefaria* removed the turbidity between a 80-90%. The best turbidity values were obtained when *Cactus lefaria* was treated with methanol and ethyl acetate for a initial water turbidity from 20 to 30 NTU. This show that methanol and ethyl acetate no extracted the active substance from *Cactus lefaria*. The optima dosis of coagulating was 10 mg/L of cactus. Showing that *Cactus lefaria* can be used like primary coagulating, being this very efficient to waters with initial turbidity of 30 NTU.

Key words: Cactus, coagulating, optima dosis, clarification

Eficiencia del *Cactus lefaria* para su uso como coagulante en la clarificación de aguas

Resumen

En esta investigación se evaluó la eficiencia del *Cactus lefaria* como agente coagulante en el proceso de clarificación. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio, preparando aguas turbias sintéticas con valores de turbidez iniciales de 20 a 150 UNT para comparar con las aguas que entran a la planta de tratamiento de la localidad. Se procedió a realizar ensayos de coagulación para el cactus crudo y tratado con metanol, acetato de etilo y éter de petróleo. Los parámetros a medir fueron turbidez, color y dosis óptima del coagulante. Los estudios realizados indicaron que el *Cactus lefaria* remueve la turbidez entre un 80 y 90%. Los mejores valores de turbidez se obtuvieron al tratar al *Cactus lefaria* con metanol y acetato de etilo para una turbidez inicial del agua turbia de 20 y 30 UNT. Esto demuestra que el metanol y el acetato de etilo no extrajeron la sustancia activa del *Cactus lefaria*. La dosis óptima del agente coagulante fue de 10 mg/L de cactus. Demostrando de esta manera que el *Cactus lefaria* puede ser usado como coagulante primario, siendo éste muy eficiente para aguas con turbidez inicial de 30 UNT.

Palabras clave: Cactus, coagulante, dosis óptima, clarificación.

Introducción

En el proceso de potabilización de las aguas, la clarificación es una de las etapas más importantes, ya que permite la remoción de ma-

teriales en suspensión, tales como arcilla, limo y lodos. Para lograr la clarificación del agua, es necesario la utilización de algún agente coagulante que elimine un porcentaje importante de las partículas en suspensión; actualmente el coagulan-

te más utilizado es el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) [1]. Este compuesto hidrolizado sufre una serie de reacciones con los iones alcalinos presentes en el agua, además forma complejos, polímeros e hidróxido de aluminio insoluble, que pueden ser adsorbidos por las partículas coloidales en el agua produciendo la desestabilización de las cargas y favoreciendo la precipitación de las mismas; requiriendo el ajuste del pH en forma tal que se encuentre dentro del rango establecido en las normas de calidad del agua (pH entre 6,5 y 8,5) [2]. En análisis realizados a muestras de aguas potabilizadas se han encontrado trazas de sulfato de aluminio, lo cual indica que el control en cuanto a la adición de esta sustancia no es apropiado, representando así un riesgo potencial para la salud humana [3]. Con el propósito de sustituir el sulfato de aluminio en este proceso, desde hace algunos años se ha implementado el uso de coagulantes de origen orgánico como el *Cactus lefaria*, el cual ha sido utilizado ampliamente en las zonas rurales de los Estados Lara y Falcón (Venezuela) [4]. La presente investigación se dirige al estudio de la eficiencia del *Cactus lefaria* en la clarificación de las aguas.

Metodología Experimental

Procesamiento de *Cactus lefaria*

La corteza del *Cactus lefaria* fue eliminada, quedando las partes sólida y gelatinosa, las cuales fueron secadas independientemente a 103°C durante tres horas, posteriormente fueron pulverizadas y tamizadas hasta obtener una granulometría menor o igual a $600\ \mu\text{m}$, las muestras fueron almacenadas en un desecador hasta su utilización [5].

Purificación del *Cactus lefaria*, aplicando extracción sólido-líquido, con diferentes solventes

Se realizaron extracciones sólido-líquido, utilizando diferentes solventes (metanol, acetato de etilo y éter de petróleo), con la finalidad de separar la sustancia activa del polvo crudo del cactus, para lo cual se mezcló la cantidad de 1 g de cactus pulverizado con 10 mL de cada solvente por 5 minutos, posteriormente se centrifugó a 3500 rpm, durante 5 minutos por tres veces con-

Tabla 1
Composición del agua turbia sintética

| Compuestos | Cantidades (g/L) |
|---|------------------|
| Cloruro de potasio (KCl) | 0,23 |
| Carbonato de calcio (CaCO_3) | 0,53 |
| Cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) | 0,28 |
| Bicarbonato de sodio (NaHCO_3) | 0,88 |
| Solución de caolín | 2000 mg/L |

secutivas, para asegurar la separación completa de las impurezas presentes en el cactus [5].

Composición del agua turbia sintética

El agua turbia sintética fue preparada de acuerdo con la composición obtenida en el agua cruda que entra a una planta de potabilización de aguas local (Maracaibo, Venezuela), en el año 1997 [6]; los resultados obtenidos presentaron una composición promedio de los iones cloruro, calcio, magnesio, carbonato, bicarbonato, los cuales se presentan en la Tabla 1. Se utilizó una solución de caolín de 2000 mg/L, a partir de la cual se prepararon los niveles de turbidez seleccionados (10, 20, 50, 100 y 200 UTN).

Ensayo de jarras

La prueba de Jarras permite una comparación bajo condiciones estandarizadas, de las diferentes combinaciones de dosis del coagulante, y consiste en agregar simultáneamente el coagulante orgánico (*Cactus lefaria*) a las seis jarras con agua turbia sintética, con diferentes niveles de turbidez iniciales de 20, 30, 80, 100 y 150 UNT, luego se somete a una mezcla rápida (100 rpm) por 1 minuto, después una mezcla lenta (30 rpm) por 30 minutos, dejando sedimentar el floculo por 1 hora, de acuerdo con la norma ASTM No. D2035-80. Posteriormente al sobrenadante de cada jarra sedimentada se le realizaron las pruebas de turbidez y color utilizando las metodologías referidas en el manual de métodos estandarizados [7]. La dosis óptima del coagulante se determinó considerando los valores de turbidez y color registrados en la Gaceta Oficial de la

República de Venezuela No. SG: 018-98, sobre los componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable [2].

Resultados y Discusión

Resultados del tratamiento del *Cactus lefaria* crudo

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del proceso de clarificación utilizando *C. lefaria* crudo, es decir sin la aplicación de solventes orgánicos, para niveles de turbidez iniciales desde 20 a 150 UNT, de color verdadero entre 5 y 10 UCV y una dosis óptima de 10 mg/L. La turbidez residual se registró en 5 UNT, el color residual se mantuvo 5 UCV y pH del agua osciló entre 6,5 y 8,5; también son presentados los valores permitidos por la normativa venezolana para la calidad del agua potable para estos parámetros, estos resultados indican que el cactus es capaz

de favorecer el proceso de coagulación y de floculación.

Resultados del tratamiento del *Cactus lefaria* con metanol

En la Figura 1, puede observarse el comportamiento de la turbidez a diferentes dosis, 10, 20, 50, 100 y 200 mg/L del cactus tratado con metanol, para diferentes niveles iniciales de turbidez de 20, 30, 80, 100 y 150 UNT en el agua turbia sintética. Los valores mínimos de turbidez residual de 0 UNT, se obtuvieron para una turbidez inicial de 20 a 30 UNT para una dosis de cactus aplicada de 10 y 20 mg/L, los cuales alcanzan los rangos permitidos por la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 36395 [2] (Tabla 2). Se infiere que la sustancia activa coagulante no es soluble en este solvente, debido probablemente a la naturaleza no polar de la misma, ya que el me-

Tabla 2
Resultados obtenidos en los parámetros medidos con cactus crudo y valores permitidos por la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. SG:018-98

| Componente | Unidad | Valor deseable menor a | Valor máximo aceptable ^a | Resultados |
|------------|------------------|------------------------|-------------------------------------|------------|
| Turbiedad | UNT ^c | 1 | 5 (10) | 5 |
| Color | UCV ^b | 5 | 15 (25) | 5 |
| pH | | 6,5-8,5 | 9 | 6,5-8,5 |

^a Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria. ^b UCV: Unidades de Color Verdadero o real. ^c UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

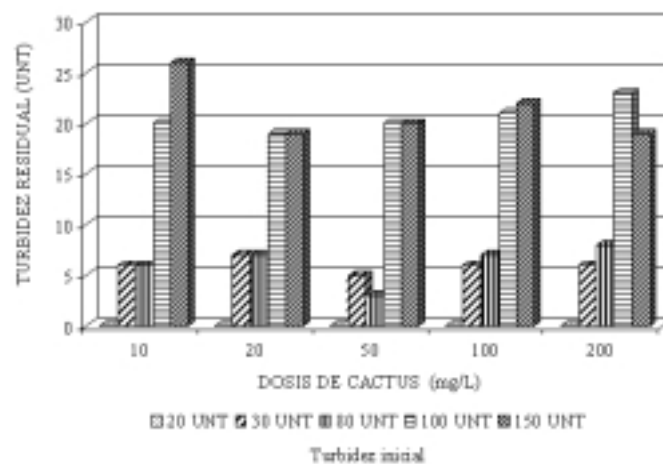


Figura 1. Relación de turbidez obtenida con dosis de cactus crudo tratado con metanol a diferentes turbiedades del agua.

tanol es selectivo para los compuestos polares principalmente carbohidratos [8].

Resultados del tratamiento del *Cactus lefaria* con acetato de etilo

En la Figura 2, puede observarse el comportamiento de la turbidez obtenida a diferentes dosis aplicadas desde 10 hasta 200 mg/L del cactus tratado con acetato de etilo, para diferentes niveles iniciales de turbidez desde 20 hasta 150 UNT en el agua turbia sintética. Se obtuvieron concentraciones mínimas de turbidez residual, menores a 5 UNT, para valores de turbidez iniciales de 20 a 30 UNT y dosis de coagulante de 10 y 20 mg/L. Este comportamiento supone que el acetato de etilo extrajo parcialmente la sustancia

activa del cactus, infiriéndose que ésta es de naturaleza no polar, siendo éste un solvente polar aprótico que se utiliza para extraer sustancias poco polares, tales como algunas proteínas y vitaminas [9].

Extracción de la sustancia del *Cactus lefaria* con éter de petróleo

Los resultados de turbidez obtenidos para las muestras de cactus tratado con éter de petróleo y turbiedades iniciales de 20 a 150 UNT y dosis de cactus de 10 a 200 mg/L, son superiores a los niveles establecidos en las normas de calidad del agua y revelan valores más altos (30 UNT) en comparación con los solventes anteriores (Figura 3), de esta manera se establece que el éter de

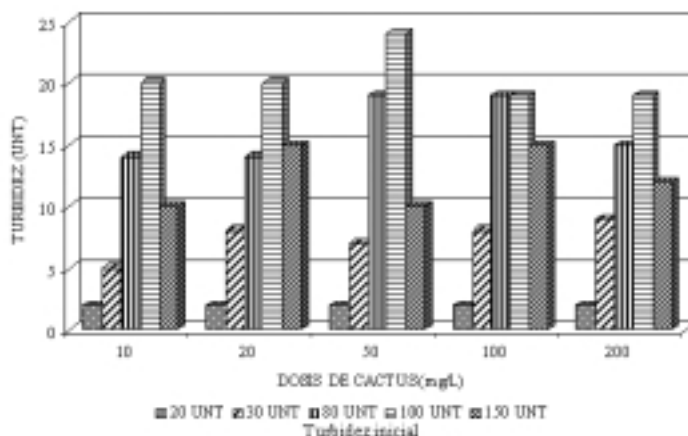


Figura 2. Relación de turbidez obtenida con dosis de cactus crudo tratado con acetato de etilo a diferentes turbiedades del agua.

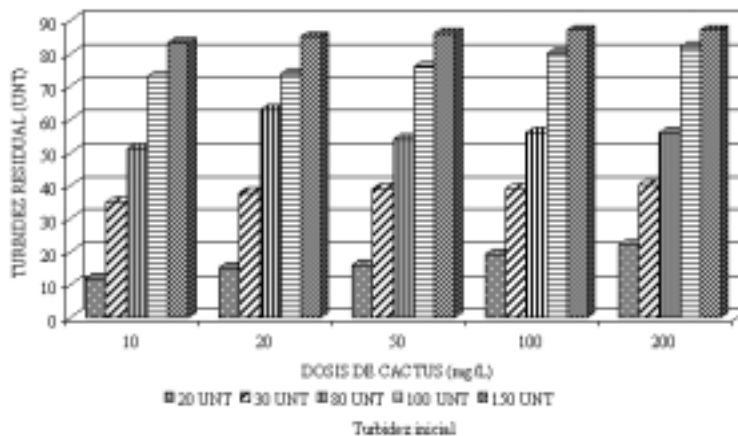


Figura 3. Relación de turbidez obtenida con dosis de cactus crudo tratado con éter de petróleo a diferentes turbiedades del agua.

petróleo es capaz de extraer la sustancia activa del cactus, demostrando la afinidad no polar de la misma.

Resultados de remoción de color

El parámetro de color no presentó diferencias significativas con el incremento de la dosis de *Cactus lefaria* debido a que la solución coagulante se mantuvo en un rango entre 5 y 10 UCV, puesto que la solución coagulante era de poco co-

lor (menor de 10 UCV), también se observó que los niveles de color obtenidos dependían directamente de la turbidez residual lograda, este comportamiento se observó para todas las pruebas de jarra realizadas para el cactus crudo y el cactus tratado con solventes orgánicos (Tabla 3).

Actividad de coagulación del cactus

La mejor remoción de turbidez se obtuvo al tratar el cactus con metanol y acetato de etilo lo-

Tabla 3
Valores de color real para los diferentes tratamientos aplicados a los extractos de *Cactus lefaria*

| Turbidez inicial (UNT) | Dosis de coagulante (mg/L) | Color inicial | Color final <i>Cactus</i> crudo | Color final <i>Cactus</i> con Metanol | Color final <i>Cactus</i> con Acetato de etilo | Color final con <i>Cactus</i> con Éter de petróleo |
|------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| 20 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 20 | | 5 | 5 | 5 | |
| | 50 | | 5 | 5 | 5 | |
| | 100 | | 5 | 5 | 5 | |
| | 200 | | 5 | 5 | 5 | |
| 30 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 20 | | 5 | 5 | 5 | |
| | 50 | | 5 | 5 | 5 | |
| | 100 | | 5 | 5 | 5 | |
| | 200 | | 5 | 5 | 5 | |
| 80 | 10 | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 |
| | 20 | | 5 | 5 | 10 | 5 |
| | 50 | | 5 | 5 | 10 | 5 |
| | 100 | | 5 | 5 | 20 | 10 |
| | 200 | | 5 | 5 | 20 | 5 |
| 100 | 10 | 10 | 5 | 10 | 20 | 10 |
| | 20 | | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 50 | | 10 | 10 | 20 | 10 |
| | 100 | | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 200 | | 10 | 10 | 20 | 10 |
| 150 | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | 20 |
| | 20 | | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 50 | | 5 | 10 | 10 | 10 |
| | 100 | | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 200 | | 10 | 10 | 10 | 10 |

grando niveles bajos de turbidez, estos resultados concuerdan con valores reportados por Mendoza y col. [10] quienes indican que los solventes orgánicos promueven un mejor proceso de reducción de la turbidez, puesto que separa la sustancia activa de las impurezas del coagulante orgánico utilizado (*Moringa oleifera*).

Puede observarse que solo los extractos con metanol y acetato de etilo poseen actividad de coagulación ya que remueven turbiedades iniciales de 20 a 30 UNT, para dosis de coagulante de 10 a 20 mg/L, alcanzando remociones entre 70 y 80%, debido a la afinidad por los compuestos polares, mientras que el extracto con éter de petróleo no presenta actividad de coagulación ya que éste es capaz de extraer compuestos lipídicos (aceites de origen vegetal) (Tabla 4).

Dosis óptima del *Cactus lefaria*

Para seleccionar la dosis óptima, se deben tomar en consideración aquellos ensayos donde la turbidez y el color se ajusten a los mejores resultados y que se encuentre dentro de las normas de calidad del agua para consumo humano, además, se tienen que considerar aquellas pruebas donde la dosis de coagulante sea mínima, esto se realiza para obtener mayor economía y eficiencia en el tratamiento [11]. En el desarrollo de esta investigación se obtuvo que la dosis óptima determinada fue de 10 mg/L de cactus, con la sustancia activa extraída utilizando metanol y acetato de etilo como solventes, lo cual indica el uso po-

Tabla 4
Actividad de coagulación de los extractos de *Cactus lefaria* con diferentes solventes

| Solvente | Actividad de coagulación | Turbidez removida (%) |
|------------------|--------------------------|-----------------------|
| Metanol | Presente | 80 |
| Acetato de etilo | Presente | 70 |
| Éter de petróleo | Ausente | 0 |

tencial como coagulante de origen orgánico para su uso en la clarificación de las aguas.

Con la finalidad de conocer la interrelación entre los diferentes parámetros evaluados en el uso de *Cactus lefaria* como coagulante, se aplicó un estudio de correlación de variables utilizando el paquete estadístico STATISTICA para Windows Release 4.3 Statsoft, Inc 1993 (Tabla 5).

De acuerdo con este estudio, la turbidez inicial aplicada mostró correlación significativa con el color final de cactus tratado con metanol ($r=0,830$); al comparar la dosis de coagulante con la turbidez final, la mejor correlación resultó en el tratamiento con metanol ($r=0,871$), es importante observar que el tratamiento con éter de petróleo presentó una correlación más elevada que el tratamiento con metanol ($r=0,885$), sin embargo, no es apropiado por ser un solvente que extrae la sustancia activa del *Cactus lefaria* interfiriendo con su acción coagulante. Cabe destacar que el

Tabla 5
Resultados del análisis de correlación múltiple entre los parámetros evaluados en este estudio, considerando un nivel de significancia $p < 0,05$ y $n = 25$

| Variable | CFCC | CFCM | CFCA | CFCE | TFCC | TFCM | TFCA | TFCE |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Dosis de coagulante | NS | NS | NS | NS | 0,526 | 0,871 | 0,455 | 0,885 |
| Turbidez inicial | 0,584 | 0,830 | 0,470 | 0,762 | NS | NS | NS | NS |
| Color inicial | 0,509 | 0,667 | 0,745 | 0,607 | NS | NS | NS | NS |

CFCC: Color final cactus crudo. CFCM: Color final cactus con metanol. CFCA: color final cactus con acetato de etilo. CFCE: Color final cactus con éter de petróleo. TFCC: Turbidez final cactus crudo. TFCM: Turbidez final cactus con metanol. TFCA: Turbidez final cactus con acetato de etilo. TFCE: Turbidez final cactus con éter de petróleo. NS: no significativo. r teórico = 0,381.

color inicial presentó una mejor correlación para el color final de cactus tratado con acetato de etilo ($r=0,745$); así mismo, la dosis de coagulante no interfiere con el desarrollo de color para los diferentes tratamientos ensayados.

Conclusiones

Durante esta investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El *Cactus lefaria* puede ser usado como coagulante primario, siendo éste muy eficiente hasta una turbidez inicial del agua de 30 UNT, con una dosis óptima de 10 y 20 mg/L.
- La actividad de coagulación de cactus tratado con metanol y acetato de etilo esta entre 70 y 80% para una turbiedad inicial de 20 y 30 UNT con dosis de coagulante 10 y 20 mg/L.
- Las pruebas de extracciones de la sustancia activa de *Cactus lefaria* con los tres diferentes solventes orgánicos utilizados, mostraron que el éter de petróleo elimina la sustancia activa presente, restringiendo su acción como coagulante, mientras que las extracciones con metanol y acetato de etilo permitieron la remoción de turbidez en las muestras tratadas.
- Se recomienda realizar estudios sobre el carácter inocuo de la sustancia activa del *Cactus lefaria* debido al elevado potencial en el uso de coagulantes orgánicos para la clarificación de las aguas para consumo humano.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de La Universidad del Zulia, por el financiamiento y apoyo recibido para la realización del presente trabajo.

Referencias Bibliográficas

1. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). "Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua", Lima (Perú). 623, 1983.
2. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. SG-018-98, "Normas sanitarias de calidad del agua potable", 14, 1998.
3. Albornoz A. "Medicina tradicional". Ed. Caracas. 285, 1993.
4. Velez F. y Chavez F. "Los cactus en Venezuela". Ed. Caracas. 42-68, 1978.
5. Díaz A., Rincón N., Escorihuela A., Fernández N., Chacín E y Forster C. "A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela". *Process Biochemistry*, Vol. 35 (1999) 391-395.
6. Rivero E. "Registros anuales de calidad físico-química del agua cruda, Planta C, Maracaibo". *HIDROLAGO*, 25, 1997.
7. APHA-AWWA-WEF. "Standard methods for the examination of water and wastewater" Edited by: Clesceri L., Greenberg A. and Eaton A, USA, 1998.
8. Ndabigengesere A., Narasiah K. y Talbot B. "Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*". *Water Research*, Vol. 29, No. 2 (1995) 703-710.
9. Streitwieser A. y Heathcock C. "Química orgánica", Edición 3era., Editado por McGraw-Hill. 1297, 1989.
10. Paz C., e Inciarte J. "Utilización de la savia de cardones y tunas como coagulante". La Universidad del Zulia, 97, 1978.
11. Mendoza I., Fernández N., Ettiene G. y Díaz A. "Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas". *Ciencia*, Vol.8, No. 2 (2000) 235-242.

Recibido el 9 de Abril de 2002

En forma revisada el 19 de Marzo de 2003