

**COMPROBACION DE LA EFECTIVIDAD DEL COAGULANTE (COCHFLOC)  
EN AGUAS DEL LAGO DE MANAGUA "PIEDRAS AZULES"**

**Nabyarina Almendárez de Quezada**

Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería "Campus Simón Bolívar", Managua (Nicaragua). Apartado postal 55125.

Correo electrónico: [nabyarina@hotmail.com](mailto:nabyarina@hotmail.com)

**RESUMEN**

En este trabajo se presentan los resultados de la obtención y aplicación del polímero natural denominado "Cochifloc". Este polímero es extraído de las pencas de la Tuna *Opuntia Cochinellífera* (planta nativa) empleando las operaciones de secado, molido y tamizado con un tamiz de 1 mm. Al material seco, de color verdoso, se le realizó la extracción de los pigmentos con alcohol etílico. El material libre de pigmentos se maceró con agua destilada separando el gel de la fibra por filtración. El gel se evaporó al vacío y reconcentró en un horno eléctrico, obteniéndose un polvo de color marfil, soluble en agua y de consistencia gomosa. Para identificar el nuevo material se determinó su contenido en carbohidratos, fibra, grasa, ceniza, proteína y humedad.

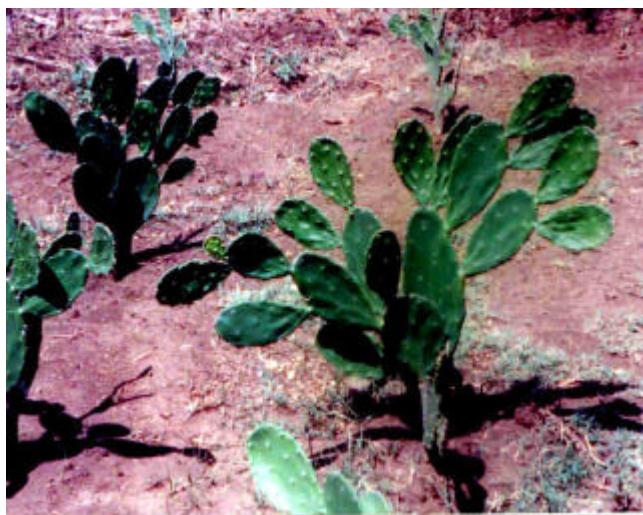
El polímero Cochifloc se utilizó como coagulante natural primario en aguas del lago de Managua "Xolotlan" (Piedras Azules), para la comprobación experimental se realizaron determinaciones en el equipo de jarras con corrección y sin corrección de pH del agua cruda, comparando la aplicación del polímero Cochifloc con los obtenidos utilizando sulfato de aluminio, cloruro férrico y el polímero sintético Quimifloc.

**Palabras claves.** Operaciones unitarias, polímero natural, coagulante natural, equipo de jarras.

## INTRODUCCIÓN

A inicio de la década de los setenta, en varios países latinoamericanos se adoptó la tecnología de tratamiento de agua potable para países en vía de desarrollo. Estos nuevos procedimientos indicaron la necesidad de utilizar coagulantes naturales locales que pudieran disminuir en parte ó en su totalidad, el consumo de reactivos químicos importados. Cabe señalar que actualmente México realiza investigación del Nopal Mexicano (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación de suspensiones coloidales y Cuba investiga la utilización de diferentes productos naturales en la clarificación de agua para consumo humano.

En Nicaragua se esta desarrollando la línea de investigación de Coagulantes Naturales Alternativos desde 1992, la cual se inició con la identificación y clasificación botánica de plantas nativas con potenciales propiedades aglutinantes. Este trabajo corresponde a la siguiente etapa de investigación de este proyecto, que consiste en la obtención del polímero natural y su aplicación en el proceso de clarificación de agua. En este trabajo mostraremos que se han obtenido resultados satisfactorios en la obtención y aplicación del polímero natural (Cochifloc).



Fotografía que muestra pencas de la Tuna *Opuntia Cochinellifera*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Materiales.** A escala de laboratorio se realizaron diferentes operaciones para la obtención del polímero natural (Cochifloc) de las pencas de Tuna *Opuntia Cochenillifera*. Después de cortadas las pencas (tallos) de la tuna, previo lavado y corte longitudinal de las mismas. Estas fueron secadas en lotes de 1,5 kg durante 48 horas a temperaturas comprendidas entre 55 y 62 °C. De los diferentes lotes secos se tomo una muestra para determinarle el análisis proximal completo completo que consiste en la determinación de carbohidratos, proteínas, grasas, fibras y humedad.

Las muestras de agua cruda fueron colectadas del lago de Managua punto de muestreo “Piedras Azules”, este punto ha sido objeto de investigaciones anteriores por brindar las facilidades de acceso a una distancia relativamente corta de la Universidad Nacional de Ingeniería. Para la investigación se capturaron dos muestras de agua.

## MÉTODOS

El material seco fue molido y tamizado en malla normalizada de 1 mm, con el fin de obtener un mejor contacto con el disolvente. La clorofila y otros colorantes se extrajeron empleando un extractor de Soxhlet, a la temperatura de ebullición del alcohol etílico. En la cápsula de Soxhlet quedó un material granular de color verde amarillo pálido, debido a la coloración persistente se realizaron otras extracciones.

La separación del material activo gelatinoso de la fibra de la tuna, se efectua macerando el material granular obtenido con agua destilada en una relación de 1:11,5 en peso y agitando a 600 rpm durante una hora para garantizar la separación de los materiales. Después de la maceración se filtro con tela nylon para retener la parte fibrosa del material, el filtrado presentó un aspecto gelatinoso color ámbar. Este filtrado se evaporó al vacío a 400 mbar entre 1:30 - 2:00 horas, hasta un volumen de 5 mL. Posteriormente se evaporó el disolvente este volumen hasta secado total, obteniéndose un polvo amorfo de color blanquecino como material activo (Cochifloc).

En la comprobación experimental de la efectividad del polímero natural (Cochifloc), se realizaron determinaciones en el equipo de jarras, el cual consiste de un agitador múltiple de velocidad variable que crea turbulencia simultáneamente en seis vasos de precipitado. Con este equipo se trata de simular las condiciones óptimas industriales en la cual se producen los

procesos de coagulación-floculación, con corrección y sin corrección del pH del agua cruda. Posteriormente se han comparado los resultados obtenidos con el polímero natural (Cochifloc) con los correspondientes del sulfato de aluminio, cloruro férrico y Quimifloc (polímero sintético) como coagulantes primarios.

Las condiciones de los ensayos fueron las siguientes:

Agua cruda (natural) : 49 NTU (Unidades Nefelométricas de turbidez), 199 UC (Unidades de Color), 9,14 pH

Concentración de coagulante 2%

Gradiente de energía total 50,8128 (adimensional).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados del secado del Lote 1 de los tallos (pencas) de tuna fresca, durante 48 horas de secado continuo. El rendimiento base de material seco fue de 9,17% y 90,83%, de la eliminación total de líquido del Lote 1.

Tabla 1. Secado de pencas de tuna fresca del Lote 1

<b>Lote 1</b>	<b>Penca Fresca</b>	<b>Penca Seca</b>	<b>Eliminado Líquido</b>
Muestra	g	g	%
1	205,7	17,1256	91,67
2	223,6	20,8434	90,68
3	183,2	15,9243	91,31
4	164,0	14,1803	91,35
5	189,7	15,9243	91,61
6	236,4	23,6992	89,97
7	270,5	25,9424	90,41
8	145,7	14,8652	89,80
<b>TOTAL</b>	<b>1618,8</b>	<b>148,5047</b>	<b>90,83</b>

Se determinó la composición de la penca seca y molida por análisis proximal. Se encontró que contiene: 60,61 de carbohidratos, 6,06 de proteínas, 0,41 de grasas, y 8,13% de fibra cruda.

De la purificación del material libre de pigmentos se han separado dos fracciones: una de cristales blancos insolubles en agua y otra de un polvo color marfil soluble en agua con consistencia gomosa.

En la Tabla 2, se aprecia los rendimientos de materia base seca despigmentada siendo 0,78 para los cristales y 20,50 para Cochifloc y 63,38% de torta como subproducto de la purificación. Las pérdidas por manipulación son del 3,82% y existen 11,52% de pérdidas debidas a materiales volátiles no determinadas. Existen unas pérdidas que no han sido determinadas en un 11,52%, se infiere que podría ser material volátil a temperaturas de 62 °C. Dicha temperatura fue la máxima en los procesos de extracción y purificación, bajo control estricto.

Tabla 2. Balance de materia tuna seca despigmentada.

Materia	Cristales	Cochifloc	Torta	Pérdida	Rendimiento %			Pérdida %
					g	g	g	Manipulación
3,8339	0,0412	0,8332	2,6564	0,1417	1,07	21,73	69,29	3,70
3,9003	0,0645	0,8437	2,4918	0,1626	1,65	21,63	63,89	4,17
4,9408	0,0210	1,0490	2,9448	0,1599	0,43	21,23	59,60	3,24
4,9107	0,0230	1,0289	3,4113	0,1431	0,47	20,95	69,47	2,91
4,8610	0,0259	0,8546	2,9948	0,1972	0,53	17,58	61,61	4,06
4,8489	0,0202	0,9942	2,9972	0,1459	0,42	20,50	61,81	3,01
4,4911	0,0469	0,8781	2,8111	0,1851	1,04	19,55	62,59	4,12
4,3975	0,0275	0,9167	2,5868	0,2363	0,63	20,85	58,82	5,37

Los resultados obtenidos del análisis proximal completo realizado al Cochifloc y a la torta se presentan en la Tabla 3. Se puede observar que la muestra del Cochifloc (polímero natural) aún contiene impurezas de fibra.

Tabla 3. Análisis proximal completo.

Muestra	Humedad %	Proteína %	Ceniza %	Grasa %	Fibra %	Carbohidratos %
Cochifloc	7,56	5,0	38,74	0,47	0,47	55,32
Torta	6,47	7,34	20,02	0,50	6,93	65,25

A la fracción de Cochifloc se le realizó un espectro de infrarrojo. En la Figura 1, se presentan los resultados del espectro obtenido.

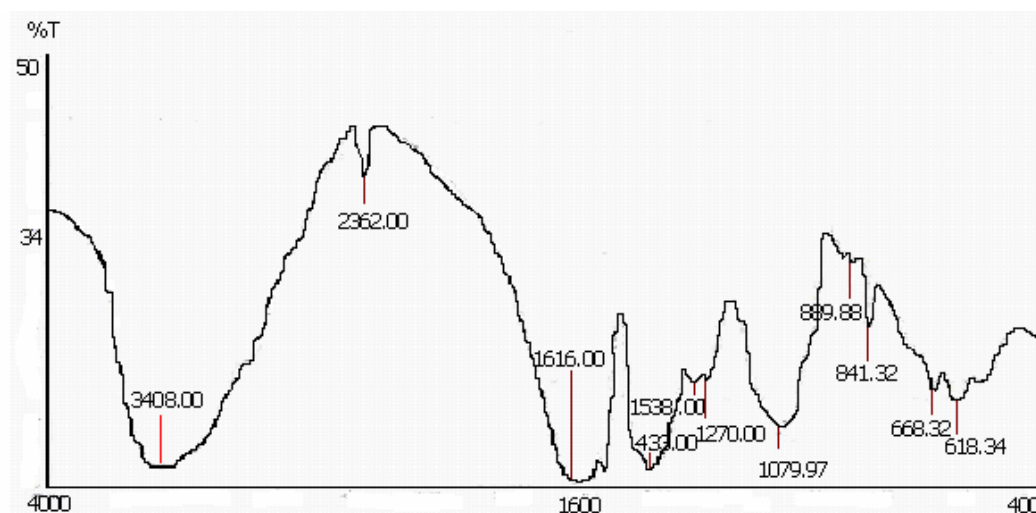


Figura 1. Espectro infrarrojo de absorción del polímero natural (Cochifloc).

El espectro de absorción presenta una banda de absorción a  $3408\text{ cm}^{-1}$ , característica de los grupos (O-H) hidróxilo asociado y (N-H) de vibración de las amidas no asociado, las flexiones de los enlaces (S - H) a  $2362\text{ cm}^{-1}$ , tiol a  $1616\text{ cm}^{-1}$ , (C - C) hidrocarburos saturados a  $1538\text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{NO}_2$  del grupo nitroso a  $1433\text{ cm}^{-1}$ , (- C-H) flexión enlace saturado y la de los (- C-O) alcoholes, éteres o ésteres a  $1270\text{ cm}^{-1}$ . Estos resultados predicen la presencia de grupos funcionales que indican que el Cochifloc es un polielectrólito natural.

Los resultados de ensayos de pruebas de jarras realizados con el polímero natural (Cochifloc) obtenido y comparado con el sulfato de aluminio para conocer sus propiedades como coagulante primario, se presentan en la Tabla 4. Se aprecia que el rango de dosis para ambas sustancias no es significativo en cuanto a la eliminación de turbidez. Las diferencias se presentan con el potencial de hidrogeno y la razón encontrada se debe a las diferencias

del pH de las soluciones de los coagulantes al 2%, que son: 3,22 para el sulfato de aluminio y 7,08 para el polímero natural.

Tabla 4. Resultados promedios de ensayos de jarras.

<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Turbiedad</b>	<b>Final</b>	<b>Cochifloc</b>	<b>Turbiedad</b>	<b>Final</b>
<b>Dosis mg/L</b>	<b>Final NTU</b>	<b>pH</b>	<b>Dosis mg/L</b>	<b>Final NTU</b>	<b>pH</b>
50	3,0	8,10	50	4,7	9,07
45	2,6	8,27	45	4,5	9,08
40	3,0	8,32	40	4,0	9,08
35	3,0	8,41	35	4,5	9,07
30	3,7	8,43	30	4,0	9,07

En la Tabla 5 se observa la influencia de las concentraciones de los coagulantes. El sulfato de aluminio al 2% presenta una unidad de diferencia por turbidez con diferentes pH; en cambio el polímero natural (Cochifloc) al 2% y pH corregido presenta eliminación del 91,33% por turbidez no así por color. Sin embargo, la concentración del 1% tiene influencia en ambos coagulantes a diferentes pH del agua cruda. Esta concentración favorece la eliminación de turbidez de agua cruda con la aplicación del sulfato de aluminio y reduce la eliminación por turbidez del agua cruda con la aplicación del polímero natural en un 53% (pH = 7,0) y 48% (pH = 9,04).

Tabla 5. Resultados promedios de ensayos de jarras.

<b>Coagulante al 2%</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Final</b>	<b>Color</b>
<b>Dosis 30 mg/L</b>	<b>Final NTU</b>	<b>pH</b>	<b>Final UC</b>
Sulfato de aluminio; pH = 9,09	4,65	8,74	102
Cochifloc; pH = 9,09	5,50	9,07	112
Sulfato de aluminio; pH = 7	3,55	7,36	95,50
Cochifloc; pH = 7	1,30	7,33	102

<b>Coagulante al 1%</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Final</b>	<b>Color</b>
<b>Dosis 30 mg/L</b>	<b>Final NTU</b>	<b>pH</b>	<b>Final UC</b>
Sulfato de aluminio; pH = 9,09	4,76	8,87	111
Cochifloc; pH = 9,09	7,83	8,96	113,58
Sulfato de aluminio; pH = 7	3,22	7,11	97,40
Cochifloc; pH = 7	7,00	7,51	109,50

**Condiciones de los ensayos:**

Agua cruda (natural) 15 NTU de turbidez, 109 UC de color verdadero, 9,09 pH  
Gradiente de energía total 50,8128 (adimensional).

Al comparar la eficacia del polímero natural respecto a las del polímero sintético y las sales de sulfato de aluminio y cloruro férrico al 1%, sin corrección de pH del agua cruda se observa este comportamiento de la coagulación-floculación en la Figura 2. El cloruro férrico alcanza la mayor eliminación por turbidez (80,52 %), mientras que con el sulfato de aluminio se obtiene un 64,51%, para el Cochifloc del 42% y, finalmente, para el Quimifloc sólo del 9,41%.

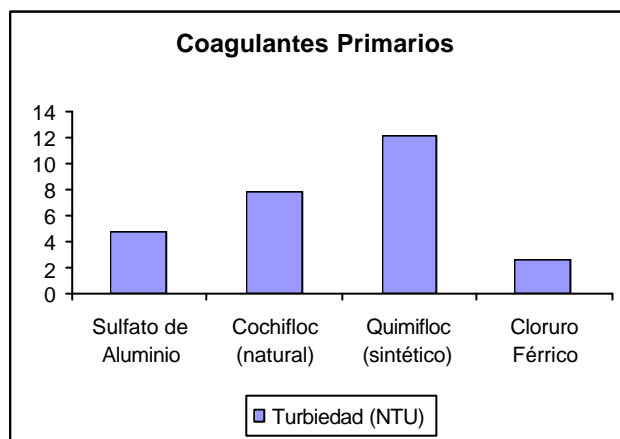


Figura 2. Representación de la eficacia con coagulantes primarios.

## CONCLUSIONES

- Las determinaciones por análisis proximal completo demuestran que el polímero natural aislado contiene 7,56% de humedad la cual se encuentra en bs rangos para almacenado. El porcentaje de composición de los carbohidratos es 55,32, proteínas 5 y grasas 0,47%.
- El espectro de absorción infrarrojo contribuye a identificar al polímero como un polielectrólito de origen natural al presentar diferentes bandas de absorción para grupos



hidróxilos y amidas no asociadas en la zona de los  $3408\text{ cm}^{-1}$ , la flexión de enlace saturado carbono hidrógeno de  $1433\text{ cm}^{-1}$  y la presencia de alcoholes, éteres de  $1270\text{ cm}^{-1}$ .

- Se encontró que Cochifloc como coagulante primario es sensible a las concentraciones de las soluciones de 2 y 1%. Para el 2% la eliminación por turbidez fue del 63% (pH sin corrección) y del 91% (para pH corregido). Para el 1% la eliminación fue del 48% a pH = 7,0 y del 53% a pH de 12,01.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Hespanhol, Ivanildo. “Cinética de floculacao de suspensoes coloidais com polieletrólitos naturais”. Universidad de Sao Paulo, Escola Politécnica.
2. Kirchmer, Cliff J. “Aspectos químicos y físicos de la coagulación del agua”. CEPIS, Lima, Perú; 11277.
3. Kim, R.P. “Selecting polymeric flocculants for water treatment Public works”, 11285.
4. Kolar, V. “Flujo turbulento de líquidos con polímeros”. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana. Ingeniería hidráulica; Nov. 11286.
5. Picado Blanco, Luis Paulino. “Aplicación de polímeros naturales al tratamiento de potabilización del agua”. San José, Aya: 11284
6. Raghuvanshi, S.S.; Sihorwala, Thakur, A.K. “Use of polyelectrolyte for treatment of water having high turbidity”. Journal of the Indian water association, 11288.
7. Valera Salazar, Jaime. “Análisis comparativo de polímeros naturales y sintéticos aplicado al tratamiento de aguas”. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 11286.