

Eficiencia de *Hylocereus lemairei* como coagulante - floculante en aguas para consumo humano

***Iván Mendoza¹, Lorena Fuentes², Yaxcelys Caldera³,
Francisco Perdomo⁴, Anyelina Suárez⁵, Nidia Mosquera⁶
y Hernán Arismendi⁷***

¹Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL), Programa de Ingeniería, Núcleo LUZ - COL, Universidad del Zulia.
ivnmendoza@yahoo.es

Resumen

En esta investigación se evaluó la eficiencia de la *Hylocereus lemairei* como coagulante-floculante en la potabilización de aguas con valores de turbidez entre 30 y 70 NTU. Se estudiaron los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad. Los ensayos se realizaron a escala de laboratorio con muestras de aguas provenientes de la Planta de Tratamiento "Pueblo Viejo", estado Zulia, Venezuela. La metodología utilizada comprendió una investigación de carácter experimental en la cual se emplearon dosis de 218 ppm, 437 ppm, 655 ppm, 873 ppm y 1090ppm de *H. lemairei* para valores de turbidez inicial de 30, 40, 50, 60 y 70 NTU; obteniéndose dosis óptimas de 218 ppm, 437ppm, 437ppm, 873ppm y 1090 ppm, respectivamente. Los resultados obtenidos mostraron porcentajes de remoción para el parámetro turbidez de 94,53 a 98,20%, para el color se obtuvieron valores que fluctuaron entre 3 y 5 UC, la alcalinidad se mantuvo en un intervalo de 40,85 a 101,64 mg CaCO₃/L y el pH varió de 7,13 a 7,63, después del proceso de filtración. En forma general, los parámetros fisicoquímicos evaluados en este estudio se mantuvieron dentro de los estándares exigidos por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable para Venezuela, luego de simular las etapas de coagulación-floculación, sedimentación y filtración. Estos resultados confirman la factibilidad de em-

plear la *H. lemairei* como coagulante natural efectivo en sustitución de los productos químicos utilizados actualmente por las plantas de tratamiento, de los cuales uno de los más usados es el sulfato de aluminio.

Palabras clave: *Hylocereus lemairei*, turbidez, coagulante natural, coagulación-floculación.

*Efficiency of *Hylocereus Lemairei* as Coagulant-Floculant in Waters for Human Consumption*

Abstract

In this research the efficiency of the *Hylocereus lemairei* was evaluated as coagulant - floculant in the potabilización of waters with values of turbidity from 30 to 70 NTU. The parameters turbidity, color, pH and alkalinity were studied. The tests were made in scale of laboratory with water samples from the treatment plant "Pueblo Viejo", state Zulia, Venezuela. The used methodology included an investigation of experimental character in which were used doses of 218 ppm, 437 ppm, 655 ppm, 873 ppm and 1090ppm of *H. lemairei* for values of initial turbidity of 30, 40, 50, 60 and 70 NTU; obtaining optimal doses of 218 ppm, 437ppm, 437ppm, 873ppm and 1090 ppm, respectively. The obtained results showed percentages of removal for the parameter turbidity from 94,53 to 98,20%, for the color were obtained values that fluctuated between 3 and 5 UC, the alkalinity stayed in a interval from 40.85 to 101.64 mg CaCO₃ / L and the pH varied from 7.13 to 7.63, after the filtration process. In general, the physicochemical parameters evaluated in this study stayed within the standards demanded by the Sanitary Standards of Quality of the Potable Water for Venezuela, after simulating the stages of coagulation-flocculation, sedimentation and filtration. These results confirms the feasibility and to use *the H. lemairei* as natural effective coagulant in substitution of chemical agents used at the moment by the treatment plants, were one of the most used is the aluminum sulphate.

Key words: *Hylocereus lemairei*, turbidity, natural coagulant, coagulation - flocculation.

Introducción

El agua es el compuesto más importante para el mantenimiento de la vida en el planeta, siendo la utilizada para consumo humano la de mayor interés para la comunidad mundial, por lo cual organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido parámetros normativos tendientes a garantizar un servicio de agua potable que cumpla condiciones mínimas de salubridad. Según Vargas (1984), los procesos de potabilización incluyen dentro de sus fases esenciales la clarificación, en la cual se busca disminuir hasta valores aceptables la turbiedad y el color del agua, no sólo por razones sanitarias, sino también de estética, de modo que sea aceptada por el consumidor.

Los organismos de salud pública nacional han adoptado los lineamientos de calidad del agua que ha desarrollado la OMS. No obstante, existen normativas publicadas en la Gaceta Oficial de Venezuela (1998) que establecen rangos y valores aceptables para diversos parámetros. El sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, es el agente coagulante de mayor uso en Venezuela, al parecer en los últimos años la utilización de este producto está siendo controlado, por tener efectos probados en cuanto a la corrosión de tuberías y accesorios, así como también perjuicios sobre la salud humana provocados por altas concentraciones de aluminio en aguas de consumo. Algunos estudios han vinculado la presencia de aluminio en agua potable con enfermedades degenerativas del sistema nervioso central, entre las cuales se encuentra el mal de Alzheimer. Igualmente se le atribuyen propiedades carcinogénicas, tal cual lo refiere Ferran (2002).

Sobre la base de lo referido, los países latinoamericanos han empezado a plantear el uso de especies vegetales para el proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de aguas para consumo humano, aunado a que algunos de los reactivos químicos empleados deben ser importados, generándose costos operativos significativos. De allí el interés en el desarrollo de investigaciones con el fin de encontrar opciones naturales para la sustitución de éstos, que brinden eficiencia en la remoción de sólidos y a la vez constituyan desde el punto de vista económico y ambiental una iniciativa factible (Mendoza y col., 2000; Martínez y col., 2003).

Algunas especies vegetales han resultado eficientes para la potabilización de las aguas, por lo cual es conveniente realizar estudios cuidadosos acerca de la factibilidad de su uso como agentes coagulantes que sustituyan el sulfato de aluminio o también como coadyuvantes, que al ser aplicados junto a este compuesto, disminuyan la cantidad requerida del mismo.

En Latinoamérica se han evaluado las propiedades coagulantes de algunos productos naturales como la *Moringa oleifera* Lam, el *Prosopis juliflora* y el cardón de Lefaria, entre otros. Particularmente, en Venezuela la planta "Sususcure" (*Hylocereus lemairei*) ha sido utilizada de manera empírica para la clarificación de las aguas en las poblaciones del Consejo de Ciruma, Municipio Miranda (estado Zulia) y en la ciudad de Coro (estado Falcón). Por ello, se consideró relevante desarrollar una investigación científica al respecto, a fin de poder evaluar esta especie vegetal como coagulante-floculante en la potabilización de las aguas.

Metodología

Recolección de *Hylocereus lemairei*

La recolección de pencas se realizó en la población del Consejo de Ciruma, en el Municipio Miranda del estado Zulia y posteriormente fueron trasladadas al Laboratorio de Investigaciones Ambientales del Núcleo Costa Oriental del Lago (LIANCOL). Se seleccionaron de las pencas de *H. lemairei* de manera aleatoria, pudiéndose notar que las más grandes poseían mayor cantidad de pulpa, lo cual facilitó el proceso de extracción del coagulante.

La cantidad de pencas recolectadas no fue estipulada con antelación, es decir, se recolectaban las que se consideraban necesarias, dos o tres, con una frecuencia de dos veces por semana.

Procesamiento de la *Hylocereus lemairei*

Inicialmente, se efectuó la eliminación de la epidermis y parte central de la penca de *H. lemairei*, quedando una composición semisólida, fibrosa e hidratada (parénquima). Posteriormente, se pesaron 10 g de la composición e inmediatamente fue sometida al proceso de licuado en un procesador doméstico con 200 mL de agua destilada, para luego ser fil-

trada con tela nylon a fin de retener la parte fibrosa y obtener una solución acuosa. La solución resultante se vertió en un vaso de precipitado para su uso en las pruebas de dosificación posteriores. Este proceso se realizó dos veces por semana, preparándose el coagulante el día de su utilización para evitar la descomposición del mismo.

Preparación del agua sintética

Se realizó la caracterización fisicoquímica (pH, alcalinidad, turbidez y color) del agua cruda proveniente de la planta de tratamiento "Pueblo Viejo", presentando valores de pH aceptados por la Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1998), a diferencia del color y turbidez que no cumplían con los rangos aceptados, registrándose valores de turbidez en el rango de 9 a 20 NTU. Se utilizó Caolín con el fin de lograr valores de turbidez ajustados a los valores promedio suministrados por Hidrolago que sirvieron de referencia en esta investigación. El Caolín fue preparado en solución acuosa al 1%, es decir, 10 g de Caolín y agua hasta completar 1L de solución (Okuda y col, 2001). Esta suspensión fue agitada por 1 hora para la dispersión uniforme de las partículas de Caolín. Para la hidratación completa de estas partículas se dejó en reposo por 72 horas. Las muestras de aguas sintéticas se prepararon el mismo día de los ensayos. Para el desarrollo de este estudio se tomaron rangos de valores para cada uno de los parámetros: turbidez (30-70 NTU), color (20-30 UC), alcalinidad (35-110 mg CaCO₃/L) y pH (6,80-9,10), los cuales fueron seleccionados con base a los datos suministrados por Hidrolago.

Prueba de jarras

Se empleó una concentración inicial del coagulante correspondiente al 5%, la cual se seleccionó por la alta remoción de turbidez alcanzada una vez realizados ensayos preliminares. Se utilizaron dosis de 5 mL (218 ppm), 10 mL (437 ppm), 15 mL (655 ppm), 20 mL (873 ppm) y 25 mL (1090 ppm). Las partes por millón se calcularon con base a la cantidad de coagulante disuelto.

Los vasos de precipitado se llenaron con 1 L de agua sintética cada uno, colocados en un equipo para prueba de jarras (JLTG Leaching test digital) y luego se agregaron las dosis de coagulante seleccionadas con pipetas

volumétricas para simultáneamente dar inicio al proceso de mezclado rápido que fue controlado programando digitalmente dicho equipo.

En este estudio, la intensidad y duración de la mezcla rápida y la mezcla lenta, se fijaron en 100 rpm durante un minuto y 30 rpm durante 20 minutos, respectivamente. La duración de la sedimentación se mantuvo constante en 30 minutos. Todos los experimentos se realizaron a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$.

Después del mezclado rápido, inmediatamente fue establecida la intensidad del mezclado lento y su duración controlada con el cronómetro del aparato. Luego de este último mezclado se levantaron las aspas del equipo en cada uno de los seis vasos de precipitado para dar inicio a la fase de sedimentación.

Una vez finalizada la sedimentación, se tomó cuidadosamente una cantidad suficiente de cada una de las muestras para realizarles los ensayos de turbidez, pH, alcalinidad y color antes y después del filtrado de las mismas.

Determinación de Turbidez, Color, pH y Alcalinidad

Para la determinación de turbidez se utilizó un turbidímetro digital marca HF Scientific que mide valores desde 0 hasta 1000 NTU. El mismo fue calibrado con soluciones estandarizadas de formazina a 0,02 NTU, 10 NTU y 1000 NTU. Se insertó la celda con cada muestra de agua en el aparato y se registraron las medidas. Para la evaluación del parámetro color se empleó el Colorímetro Comparador Orbeco marca Hellige. En la determinación del pH se usó el método potenciométrico con el microprocessor pHmetro BT-500, de marca Boeco Germany, el cual se calibró con soluciones buffer de 4,01 y 7,00 unidades en la escala de pH. Se introdujo el electrodo en cada una de las muestras ubicadas en un vaso precipitado. Asimismo, se esperó que el ícono se estabilizara en la pantalla y se leyó el valor del pH.

Posteriormente, se retiró el electrodo y se lavó con agua destilada para neutralizarlo nuevamente. La alcalinidad se determinó de manera indirecta por la titulación de la muestra diluida en agua destilada con ácido sulfúrico, H_2SO_4 , de concentración 0,02 N, siendo el indicador utilizado anaranjado de metilo debido al pH aproximado de 4,5. La titulación de las muestras se realizó hasta el cambio de color amarillo oscuro

a naranja claro, donde el volumen de ácido gastado (en mL) es el utilizado para el cálculo de la alcalinidad, la cual se reporta como mg CaCO₃/L. Para estas determinaciones se siguieron los procedimientos referidos por APHA-AWWA-WEF (1998).

Una vez medidos los parámetros fisicoquímicos turbidez, pH, alcalinidad y color, se procedió a filtrar cada una de las muestras para completar la simulación del proceso de potabilización de aguas que se realiza en la planta de tratamiento. Para la fase de filtración fueron utilizados embudos de vidrio, matraces Erlenmeyer, papel de filtro grado cualitativo con diámetro medio (12,5 cm) y soportes para filtrar. Posteriormente, se procedió a la medición de los parámetros antes mencionados en las muestras de agua filtrada para comparar los datos obtenidos antes y después del proceso de filtración.

Análisis Estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de regresión utilizando el Programa Excel versión 2003, el cual permitió predecir el comportamiento del coagulante *H. lemairei* de acuerdo a las dosis y a los valores de turbidez inicial contemplados en este estudio.

Resultados y Discusión

Caracterización del agua sintética

Los valores de los parámetros fisicoquímicos para el agua sintética antes del proceso de coagulación-floculación se presentan en la Tabla 1.

La alcalinidad se presentó en un rango de 41,85 a 101,64 mg CaCO₃/L, el pH registró valores entre 7,13 y 7,63 y el color osciló entre 5 y 20 UC, para niveles de turbidez entre 30 y 70 NTU (Tabla 1).

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en el agua sintética utilizada durante el tratamiento con el coagulante natural *Hylocereus lemairei*

| Turbidez (NTU) | Alcalinidad (mg CaCO₃/L) | pH | Color (UC) |
|-----------------------|--|-----------|-------------------|
| 30 | 41,85 | 7,63 | 5 |
| 40 | 41,85 | 7,28 | 10 |
| 50 | 59,13 | 7,47 | 10 |
| 60 | 80,38 | 7,49 | 20 |
| 70 | 101,64 | 7,13 | 20 |

Remoción de turbidez

La Prueba de Jarra permitió determinar la dosis óptima del coagulante *Hylocereus lemairei* para llegar a un valor de turbidez igual o menor al establecido por las Normas de Calidad de Agua Potable de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998). Se estableció como dosis óptima aquella que permitió obtener la menor turbidez antes del filtrado con la menor concentración del coagulante.

En las Tablas 2 y 3 se presenta el resumen de los resultados obtenidos en la Prueba de Jarra para los parámetros estudiados (turbidez, color, pH y alcalinidad), empleando valores de turbidez inicial de 30, 40, 50, 60 y 70 NTU y determinando la dosis óptima para cada valor de turbidez seleccionado.

Antes del filtrado se puede observar que los porcentajes de remoción se encuentran en un rango de 27,47 a 37,76%, luego del filtrado aumenta el porcentaje de remoción en un intervalo de 94,53 a 98,20%, observándose variaciones considerables; en contraste, los valores de pH antes y luego del filtrado oscilaron en un rango de variación pequeño (7,20 y 7,52), es decir, que la adición de distintas dosis del coagulante no alteró los valores de pH (Tabla 2).

El ensayo de color se realizó después del proceso de filtración, para obtener el color real cuyos resultados fluctuaron entre 3 y 5 UC (Tabla 3).

Tabla 2. Valores de dosis óptima, turbidez, pH, alcalinidad, porcentaje de remoción de turbidez antes del filtrado del agua sintética

| Turbidez inicial (NTU) | Dosis óptima (ppm) | Turbidez (NTU) | pH | Alcalinidad (mg CaCO₃/L) | Remoción de turbidez (%) |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|--|---------------------------------|
| 30 | 218 | 21,76 | 7,52 | 38,86 | 27,47 |
| 40 | 437 | 28,46 | 7,41 | 49,83 | 28,85 |
| 50 | 437 | 40,23 | 7,22 | 56,47 | 19,54 |
| 60 | 873 | 48,93 | 7,48 | 93,33 | 18,45 |
| 70 | 1090 | 43,57 | 7,37 | 102,97 | 37,76 |

Tabla 3. Valores de turbidez, pH, alcalinidad, porcentaje de remoción y color después del filtrado del agua sintética

| Turbidez inicial (NTU) | Dosis óptima (ppm) | Turbidez (NTU) | pH | Alcalinidad (mg CaCO₃/L) | Remoción de turbidez (%) | Color (UC) |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|--|---------------------------------|-------------------|
| 30 | 218 | 1,64 | 7,47 | 36,54 | 94,53 | 5 |
| 40 | 437 | 1,54 | 7,20 | 52,48 | 96,15 | 4 |
| 50 | 437 | 2,28 | 7,20 | 51,82 | 95,44 | 5 |
| 60 | 873 | 1,08 | 7,51 | 81,05 | 98,20 | 3 |
| 70 | 1090 | 1,26 | 7,28 | 103,64 | 98,20 | 4 |

En la Figura 1 se observa que para una turbidez de 70 NTU hay un incremento del porcentaje de remoción a medida que aumenta la concentración del coagulante natural, sin embargo para los valores de turbidez restantes (30, 40, 50 y 60 NTU) hay una tendencia a mantenerse constante o a disminuir el porcentaje de remoción a medida que aumenta la concentración del coagulante.

Por otra parte, en la Figura 2 se observa que para una turbidez de 70 NTU la curva presenta un comportamiento irregular; a medida que se incrementa la concentración del coagulante natural el porcentaje de remoción aumenta y disminuye sucesivamente. Las curvas correspondientes

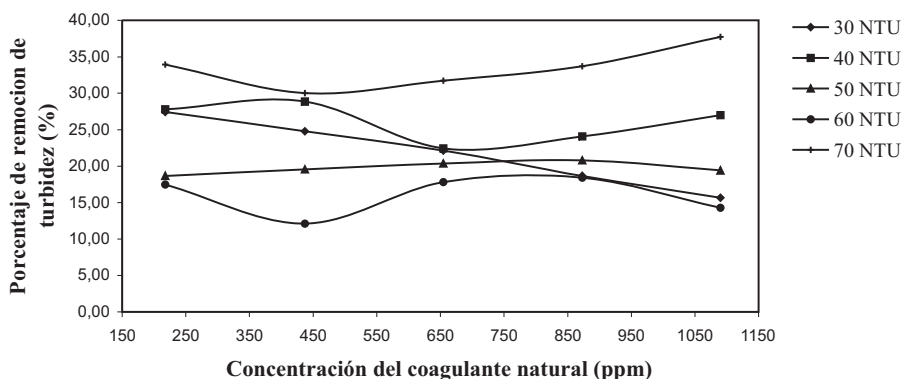


Figura 1. Porcentaje de remoción de turbidez vs. concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* antes del filtrado para niveles de turbidez 30, 40, 50, 60 y 70 NTU.

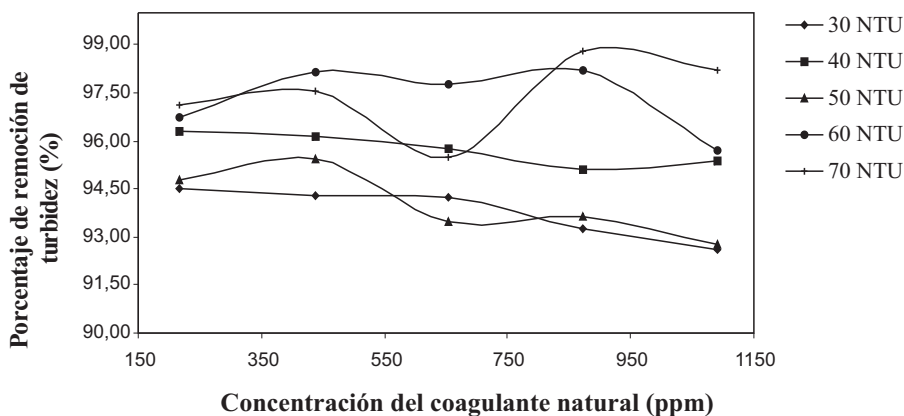


Figura 2. Porcentaje de remoción de turbidez vs. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* después del filtrado para niveles de turbidez 30, 40, 50, 60 y 70 NTU.

a los valores de turbidez de 50 y 60 NTU presentaron un comportamiento similar al descrito anteriormente pero en menor proporción, las restantes (30 y 40 NTU) tendieron a disminuir el porcentaje de remoción a medida que aumenta la concentración del coagulante natural.

Los resultados pueden compararse con los obtenidos por De Quezada (2003) con el uso del polímero natural "Cochifloc" como coagulante, el cual arrojó un 91% de remoción de turbidez filtrada como valor más alto con corrección de pH, siendo un valor menor al registrado en esta investigación (98,20%). Asimismo, se puede decir que superan los obtenidos por Martínez y col. (2003) quienes utilizaron en su investigación el cactus Lefaria. El mismo, al ser tratado con metanol y acetato de etilo remueve la turbidez filtrada entre 80 y 90% para turbidez inicial de 20 y 30 NTU usando aguas sintéticas para el estudio.

De la misma manera, estos resultados pueden compararse con los obtenidos por Mendoza y col (2000), quienes reportaron porcentajes de remoción de hasta 90% utilizando la *Moringa oleifera* como coagulante y los de Gómez (2002) quien igualmente utilizó la *M. oleifera* arrojando valores de remoción de turbidez entre 88 y 98%, resultados similares a los encontrados en este estudio usando *Hylocereus lemairei* como coagulante natural.

Adicionalmente, en la Figura 3 se observa la disminución de la turbidez inicial, (antes del filtrado), por adición del coagulante natural *Hylocereus lemairei* a valores dentro de un rango que oscila entre 21 y 53 NTU, los cuales no cumplen con las especificaciones de las normas (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998). Asimismo, se visualiza que para valores de turbidez de 30, 40, 50, 60 y 70 NTU se obtuvieron dosis óptimas de 218, 437, 437, 873 y 1090 ppm respectivamente, las cuales permitieron

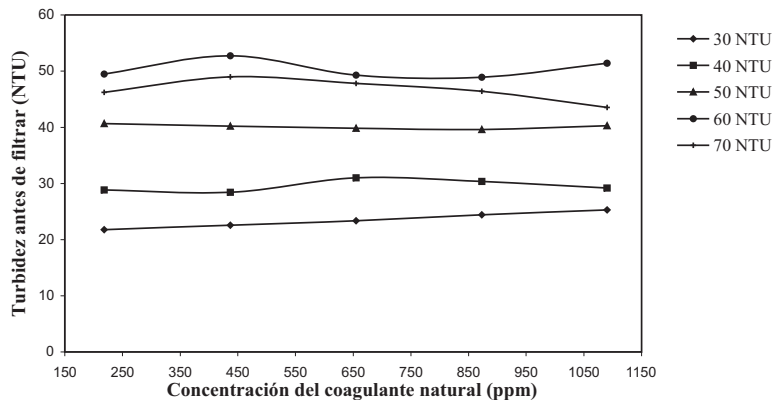


Figura 3. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* vs. valores de turbidez antes del filtrado de las muestras.

conseguir la menor turbidez con la aplicación de la menor cantidad del coagulante natural.

No obstante, la Figura 4 permite observar la disminución de los valores de turbidez inicial (después de filtrar) a valores inferiores a los límites aceptados para agua potable por las Normas de Calidad (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

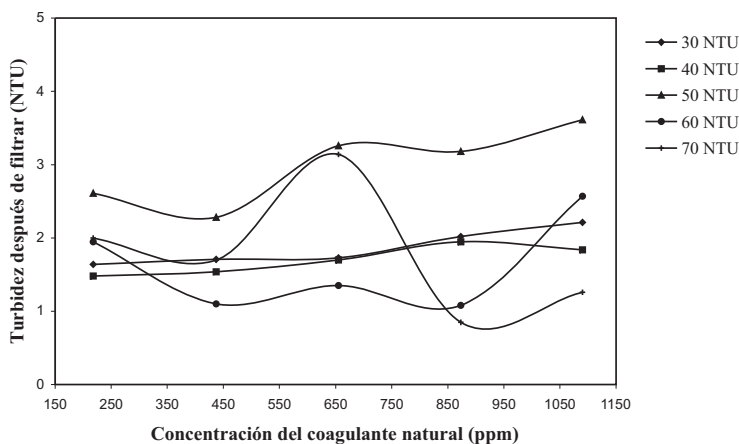


Figura 4. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* vs. valores de turbidez después del filtrado de las muestras.

Como se puede observar en las Figuras 5 y 6 los valores de pH mostraron poca variación, manteniéndose en un rango entre 6,83 y 7,52 antes de la filtración y entre 7,19 y 7,66 después de filtrada la muestra. Es importante destacar que de acuerdo a los valores reflejados en la Tabla 1, la adición del coagulante natural no afectó los valores de pH iniciales, cumpliendo así con las especificaciones para agua potable (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

Igualmente, en la Figura 7 los valores de alcalinidad antes de la filtración presentaron un incremento a medida que aumentaban los valores de turbidez (30, 40, 50, 60 y 70 NTU), sin embargo presentaron poca variación ante el incremento de la concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei*.

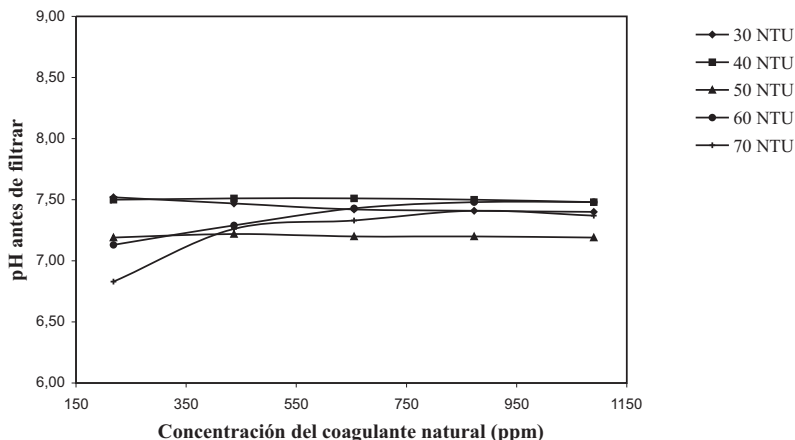


Figura 5. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* vs. valores de pH antes del filtrado de las muestras de agua.

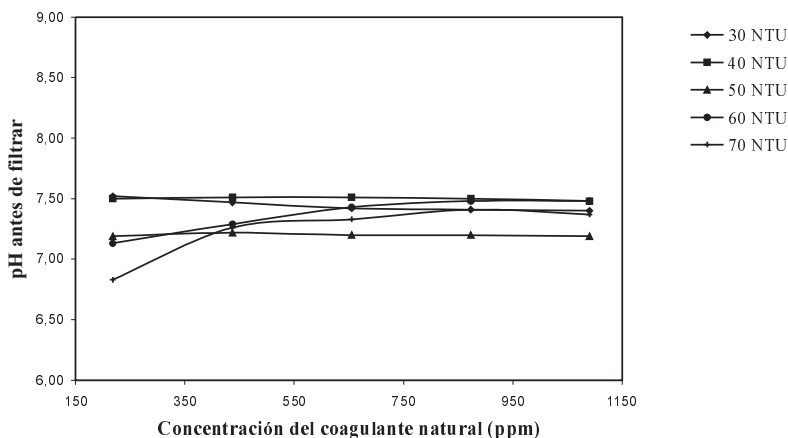


Figura 6. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* vs. valores de pH después del filtrado de las muestras de aguas.

Del mismo modo, en la Figura 8 se observa que para los valores de turbidez de 70 y 60 NTU las curvas presentan un comportamiento irregular, pues a medida que se incrementa la concentración del coagulante natural, la alcalinidad aumenta y disminuye sucesivamente. Las curvas correspondientes a los valores de turbidez de 30, 40 y 50 NTU mantuvieron una tendencia relativamente constante frente al incremento de la concentración del coagulante natural.

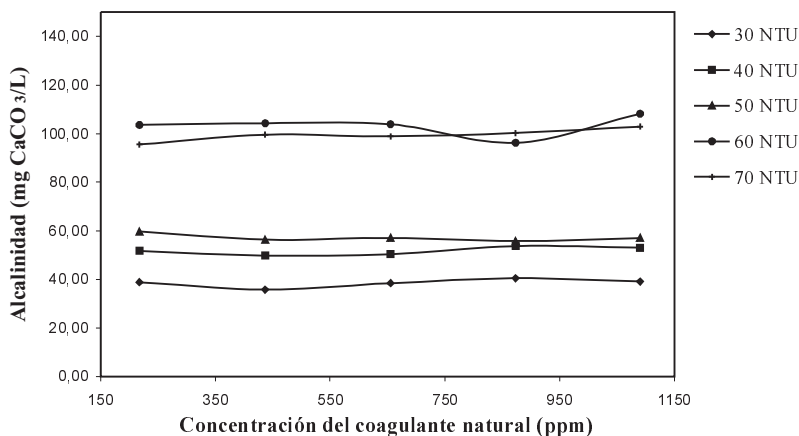


Figura 7. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* vs. valores de alcalinidad antes del filtrado de las muestras.

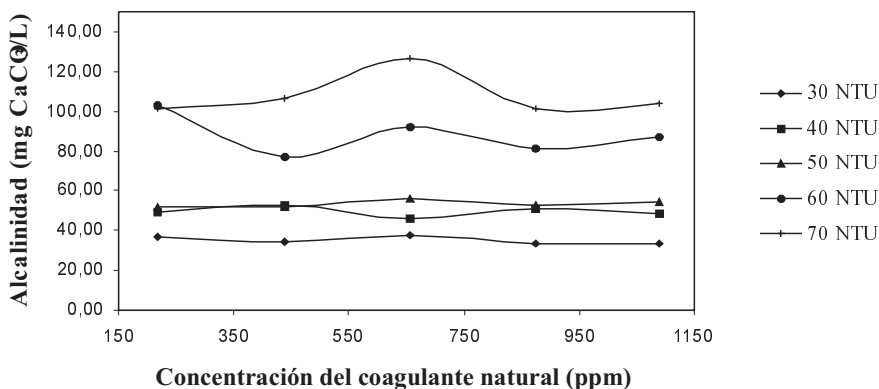


Figura 8. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* vs. valores de alcalinidad después del filtrado de las muestras.

Cabe destacar que la alcalinidad no sufrió variaciones considerables al adicionar el coagulante natural, lo cual puede verse al comparar con la Tabla 1 de valores iniciales.

Los valores obtenidos en los ensayos de color muestran variabilidad luego de ser filtradas las muestras de agua, tal y como se puede observar gráficamente en la Figura 9, encontrándose estos valores dentro del rango aceptado por las Normas de Calidad de Agua de Venezuela (Gaceta Oficial de Venezuela, 1998).

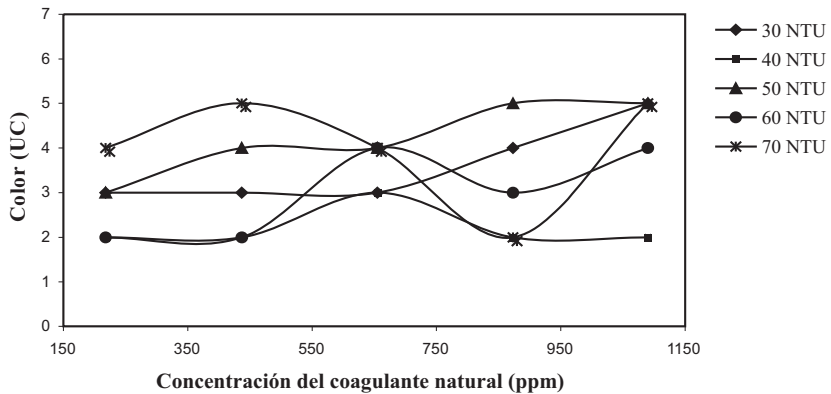


Figura 9. Concentración del coagulante natural *Hylocereus lemairei* vs. valores de color (UC) luego del filtrado de las muestras.

Modelo de regresión para predecir la relación *Turbidez inicial vs. dosis de*

Hylocereus lemairei

La curva de regresión correspondiente a la dosis óptima de coagulante para los diversos valores de turbidez estudiados es de tipo polinómica o cuadrática (Figura 10), pues al comparar lo R^2 para las curvas exponencial, lineal, logarítmica, potencial y polinómica se encontró que en esta última el valor de R^2 fue mayor (0,9522). Esto indica un alto porcentaje de la varianza total de la dosis que es explicado por la varianza de la turbidez inicial.

Con la curva de regresión (Figura 10) se pueden calcular las dosis del coagulante *Hylocereus lemairei* necesarias para llevar un agua de un valor de turbidez conocido a valores que se ubiquen dentro de los parámetros establecidos por las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable de Venezuela (1998).

El modelo de regresión se expresa de la siguiente manera:

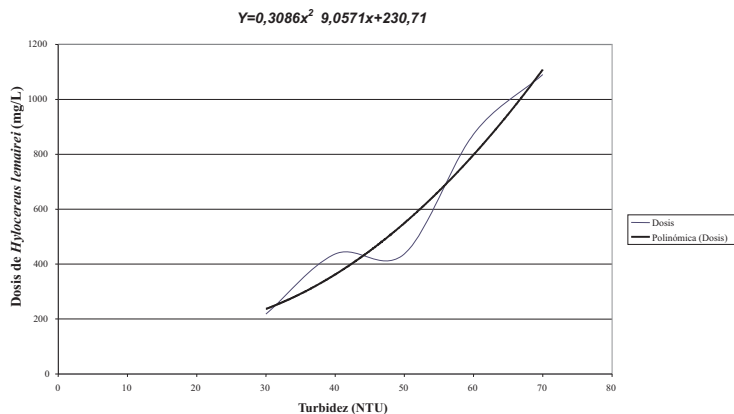


Figura 10. Modelo de Regresión Polinómico para el Coagulante *H. lemairei*.

Conclusiones

Los resultados demostraron que el extracto obtenido de la especie *Hylocereus lemairei* posee muy buenas propiedades como coagulante, ya que removió valores de turbidez inicial de 30, 40, 50, 60 y 70 NTU a valores de 1,64; 1,54; 2,28; 1,08 y 1,26 NTU, respectivamente. Esto se cumplió después de simular las etapas de coagulación-floculación, sedimentación y filtración, inherentes al proceso de potabilización de aguas.

El color inicial disminuyó a valores menores de 5 UC, adecuándose a lo establecido en las normas; el pH presentó poca variabilidad, ya que una vez aplicado el tratamiento, se mantuvo cercano al valor inicial del agua sintética empleada en este estudio, cumpliendo con el intervalo establecido por la Gaceta Oficial de Venezuela (1998), para este parámetro; y la alcalinidad se mantuvo en un rango de 40,85 a 101,64 mg CaCO₃/L.

Para turbiedades iniciales de 30, 40, 50, 60 y 70 NTU se obtuvieron dosis óptimas de 218, 437, 437, 873 y 1090 ppm de *Hylocereus lemairei*, respectivamente. El estudio mostró porcentajes de remoción de turbidez entre 94,53 y 98,20%, lo cual permite proponer la cactácea *Hylocereus lemairei* como una opción viable dentro de los coagulantes naturales, pudiéndose emplear como coagulante primario en las plantas de tratamiento de agua potable del país.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto No. CC-0393-06. Igualmente, a la Hidrológica del Lago (HIDROLAGO), específicamente a la Planta de Tratamiento Pueblo Viejo por la colaboración prestada en el suministro de muestras de agua requeridas para este estudio. A los profesores Miguel Ángel Pietrangelli y Ángel Villarreal, pertenecientes a la Facultad Experimental de Ciencias, quienes realizaron la clasificación taxonómica e identificación de la especie *Hylocereus lemairei*.

Referencias bibliográficas

- Amirtharajah, A. (1987). Seminario Internacional sobre Tecnología Simplificada para potabilización del agua. Acodal, Cali. Colombia.
- APHA – AWWA – WEF. (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 20th Edition.
- De Quezada, Nabyarina (2003). Comprobación de la Efectividad del Coagulante (*Cochifloc*) en aguas del Lago de Managua. Piedras Azules. **Revista Iberoamericana de Polímeros.** Vol. 5. N° 1. pp. 46-53.
- Ferran, B. (2002). Revisión de los estudios sobre exposición al Aluminio y enfermedad de Alzheimer. **Rev. Esp. Salud Pública,** N° 6. Noviembre - Diciembre 2002. 'pp. 645-658.
- Gaceta Oficial de La República de Venezuela N° SG-018-98, Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable", 1998.
- Gómez, E. (2002). **Desinfección y Coagulación del agua potable con el uso de la *Moringa oleifera*.** Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad del Zulia. p. 96.
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E. y Fernández, N. (2003). Eficiencia del *Cactus lefaria* para uso como coagulante natural en la clarificación de aguas". **Revista Técnica de Ingeniería.** Universidad del Zulia. Vol.26, N° 1. pp. 27-33.
- Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G. y Díaz, A. (2000). Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas. **Revista Ciencia.** Universidad del Zulia. Vol.8, N° 2. pp. 235-242.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W. y Okada, M. (2001). **Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution.** Water. Research. Vol. 35 N° 2. pp. 405-410.
- Vargas, L. (1984). **Manual de Laboratorio para análisis de aguas.** Universidad del Zulia. Trabajo de ascenso. p. 362.