

Artículo Corto

## POLVO DE LA SEMILLA *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL EN EL TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA

## POWDER SEED OF *Cassia fistula* LIKE NATURAL COAGULANT IN TREATMENT OF RAW WATER

## PÓ DE SEMENTES *Cassia fistula* COMO COAGULANTE NATURAL NO TRATAMIENTO DE AGUA

LUIS GUZMÁN C.<sup>1</sup>, ARNULFO ANTONIO TARON D.<sup>2</sup>, ANTONIO NÚÑEZ M.<sup>3</sup>

### RESUMEN

*Los extractos naturales de plantas se han usado para la purificación de agua por muchos siglos. La mayoría de estos se derivan de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas. En este trabajo se estudió la utilización del polvo de la semilla de la *Cassia fistula* como coagulante natural, estableciendo su dosis óptima mediante la prueba de jarras y determinando los parámetros de color, turbidez, alcalinidad total, y dureza total; utilizando agua del Canal del Dique. La dosis óptima del coagulante encontrada está entre 15-25 mg/L, obteniendo valores finales de turbidez y color de 6 NTU y 25 UC respectivamente. Los valores de pH y alcalinidad total no presentaron mayores variaciones. Los valores de los parámetros turbidez y color al igual que el pH, alcalinidad total y dureza total se encuentran cerca de los estándares establecidos por la norma colombiana que garantizan la calidad del agua para consumo humano; demostrando la potencialidad de uso de este coagulante natural como coagulante primario en tratamiento de aguas crudas.*

---

**Recibido para evaluación:** 12 de Abril de 2013. **Aprobado para publicación:** 16 de Febrero de 2015.

- 1 Universidad de Cartagena, Docente programa Ingeniería de Alimentos. Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cartagena, Colombia.
- 2 Universidad de Cartagena, Docente programa Ingeniería de Alimentos. M.Sc. Biotecnología. Cartagena, Colombia.
- 3 Universidad de Cartagena, Docente programa Química Farmacéutica. Químico Farmacéutico. Cartagena, Colombia.

**Correspondencia:** lguzmanc@unicartagena.edu.co

## ABSTRACT

*Natural plant extracts have been used for water purification for many centuries. Most of these was derived from seeds, leaves, bark or sap, roots and fruits of trees and plants. In this paper, using seed powder of Cassia fistula as natural coagulant, establishing their optimal dose through "jar tests" and determining the parameters of color, turbidity, total alkalinity and total hardness, using water from the "Canal del Dique". The optimal effective dose of coagulant is found between 15-25 mg/L, obtaining final values of turbidity and color of 6 NTU and 25 UC respectively. The pH values no major variations, as total alkalinity. The values of the parameters turbidity and color are located near the standards set by the Colombian standard to ensure the quality of water for human consumption, as well as the pH, total alkalinity and total hardness, demonstrating the potential use of this coagulant primary natural coagulant in water treatment.*

## RESUMO

*Os extractos naturais de plantas usaram-se para a purificação de água por muitos séculos. A maioria destes se derivam de sementes, folhas, cortezas ou savia, raízes e frutos de árvores e plantas. Neste trabalho estudou-se a utilização do pó da semente da Cassia fistula como coágulo natural, estabelecendo sua dose ótima mediante a prova de jarras e determinando os parâmetros de cor, turbidez, alcalinidade total, e dureza total; usando água do Canal do Dique. A dose efectiva ótima do coagulante encontrada está entre 15-25 mg/L, obtendo valores finais de turbidez e cor de 6 UNT e 25 UC respectivamente. Os valores de pH não apresentaram maiores variações, ao igual que a alcalinidade total. Os valores dos parâmetros turbidez e cor, encontram-se para perto de os standardes estabelecidos pela norma colombiana para garantir a qualidade do água para consumo humano; ao igual que o pH, alcalinidade total e dureza total; demonstrando a potencialidade de uso deste coagulante natural como coagulante primário em tratamento de água.*

## INTRODUCCIÓN

La coagulación es un proceso esencial en el tratamiento del agua turbia superficial y de aguas residuales industriales y domésticas. La remoción de la turbidez, color y materia orgánica natural es uno de los pasos más importantes en un proceso de tratamiento de agua, y se logra generalmente utilizando coagulantes [1]. Muchos de ellos como el cloruro férrico, sulfato de aluminio, cloruro de polialuminio y carbonato de calcio se han utilizado para eliminar las impurezas y las partículas coloidales de las aguas naturales [2]. Sin embargo, existen desventajas asociadas al uso de estos coagulantes, como altos costos de adquisición, producción de grandes volúmenes de lodos y el hecho de que afectan significativamente el pH del agua tratada [3].

Los extractos de plantas naturales tales como la *Moringa oleifera*, *Jatropha curcas*, *goma guar*, *Strychnos potatorum*, *Hibiscus sabdariffa* y *Clidemia*

## PALABRAS CLAVE:

Cactus, Floculación, Estabilidad, Dosis óptima.

## KEY WORDS:

Cactus, Flocculation, Stability, Optimal dosage.

## PALAVRAS-CHAVE:

Floculação, Estabilidade, Dosis ótima.

*angustifolia* se han usado para la purificación del agua por muchos siglos. La mayoría de estos se derivan de semillas, hojas, cortezas o savia, raíces y frutos de árboles y plantas o pueden extraerse de microorganismos, animales o tejidos vegetales [4]; estos coagulantes muestran ser biodegradables y se presume que son seguros para la salud humana [5]. Además, los coagulantes naturales producen lodos menos voluminosos en cantidad y rápidamente biodegradables que su contraparte el alumbre [6]. El uso de materiales naturales de origen vegetal para clarificar las aguas crudas turbias no es una idea nueva. Los coagulantes naturales se han usado en el tratamiento de aguas para consumo doméstico tradicionalmente en áreas rurales tropicales [7]. En particular, la *Moringa oleifera* originaria de Sudán se ha clasificado como uno de los mejores extractos de plantas para el tratamiento del agua [8]. Este árbol es considerado mundialmente como el árbol milagroso, debido a que cada parte del árbol de Moringa puede usarse en la alimentación, la medicación y para propósitos industriales [9]. Algunas personas usan sus hojas, flores y vainas frescas como verduras, mientras otros lo usan como alimento para el ganado [10].

La cañafístula, carao o cañadonga es un árbol natural de América Central y las zonas costeras de las Antillas, perteneciente a la familia Fabaceae género *Cassia*. En Colombia, México y probablemente en otros países, también se le conoce como lluvia de oro (*Cassia fistula* Golden-Shower) [11]. Es un árbol pequeño de hasta 5 m de altura por 30 cm de diámetro, con la corteza gris verdoso, hojas compuestas, pinnadas, con 4 a 8 pares de hojuelas. Las flores son de color amarillo intenso y están dispuestas en grandes racimos colgantes. Los frutos son vainas alargadas, delgadas, cilíndricas, negras, de aproximadamente 50 cm de largo [12]. El nombre del género *Cassia* proviene de los antiguos griegos, quienes lo aplicaban a una serie de plantas con propiedades terapéuticas. El epíteto *fistula* proviene del latín que significa “tubo”, en alusión a la forma de los frutos [12].

### Panorama Nacional

Para la Defensoría del Pueblo, en Colombia existen según los reportes del DANE un total de 1113 municipios; de ellos, solo el 4% suministra agua apta para consumo humano, el 70% agua con “riesgo alto” para la salud y el 21% agua “inviabile sanitariamente” [13]. A pesar de los grandes esfuerzos y avances logrados en relación con el aumento de la cobertura del

servicio de acueducto, los avances en términos de calidad del agua han sido lentos. Entre los años 2009 y 2010, el número de municipios que distribuyeron agua inviable sanitariamente aumentó, al pasar de 76 a 100 [13], mientras que el número de municipios que suministran agua apta para consumo humano aumentó pasando de 347 a 400 municipios. En las categorías ‘riesgo medio’, ‘riesgo alto’ e ‘inviabile sanitariamente’, también se notó una gran mejoría; en cada uno de estos niveles de riesgo disminuyó el número de municipios que distribuyen agua con algún riesgo para la salud humana [13].

Ante este panorama, y conociendo que la utilización de materiales de origen vegetal como el polvo de semillas de árboles y materiales comestibles entre otros, han sido mencionados y utilizados como coagulantes naturales para la clarificación de aguas superficiales; en este trabajo se plantea la posibilidad de sustituir los agentes coagulantes de uso común por el polvo de semillas de *C. fistula* como agente coagulante natural así como su aplicabilidad en el tratamiento de aguas para consumo humano.

### MÉTODO

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó agua cruda tomada del Canal del Dique. El sitio elegido para el muestreo se encuentra a la altura del corregimiento Gambote (Bolívar) (N 10° 09´ 47,98” - W 75° 17´ 50,49”); la recolección de la muestra se realizó en el séptimo mes del año; correspondiente a una época invernal, período en que el agua se caracteriza por presentar una elevada turbidez y sus características iniciales se dan en la Cuadro 1.

Para la obtención del agente coagulante se procedió conforme al esquema propuesto por Yin [3]. Las semillas de *C. fistula* se recolectaron de forma manual, desechando aquellas que presentaron daños por insectos. Una vez recolectadas y seleccionadas, estas fueron expuestas al sol durante un

**Cuadro 1.** Parámetros de calidad del agua cruda.

Parámetro	Valor	Unidad
Turbidez	120	NTU
Color	200	UPC
Alcalinidad Total	40	mg/L (CaCO <sub>3</sub> )
Dureza Total	72	mg/L (CaCO <sub>3</sub> )
pH	6,53	

periodo aproximado de 8 días. Las semillas secas, fueron molidas en un molino mecánico helicoidal Marca Pulvex Modelo 95. Esta operación se repitió varias veces hasta obtener un polvo de consistencia fina o agente coagulante. La solución del coagulante se preparó disolviendo 25 g de polvo de semilla en 100 mL de agua destilada.

### Prueba de coagulación

Para determinar las propiedades coagulantes del extracto de semillas de *C. fistula* se utilizó la prueba de jarras estándar descrita entre otros por Satterfield [14]. El procedimiento consistió en tomar siete vasos de precipitados en los cuales se vertieron 500 mL de agua cruda obtenida en el Canal del Dique, utilizando uno como control; los otros seis se dosificaron con los extractos de semilla de *C. fistula* con concentraciones de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 ppm respectivamente. El agua cruda y la mezclada con el agente coagulante fueron sometidas inicialmente a una agitación rápida a 100 rpm durante 1 minuto, seguida de agitación lenta a 40 rpm durante 30 minutos; por último, se permitió un tiempo de sedimentación de 60 minutos. Finalmente se tomaron con ayuda de una pipeta graduada, 20 mL del agua clarificada sobrenadante para su análisis. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente y el equipo utilizado fue el Floculador digital E&Q F6-300.

Los parámetros fisicoquímicos de color, turbidez, pH, alcalinidad y dureza se evaluaron por triplicado en el agua cruda y en el agua tratada con el agente coagulante utilizando la metodología propuesta por la AWWA [15]. El color se evaluó por comparación visual de la muestra utilizando un colorímetro Lovibond PFX 195 aplicando el método 2120B y los resultados de la evaluación de color se expresaron en unidades de platino-cobalto (UPC). La turbidez se determinó por el método nefelométrico (método 2130B); el cual mide la turbidez en unidades de turbidez nefelométricas (UTN) utilizando como solución estándar un polímero de formalina. El equipo utilizado fue el turbidímetro Turbiquant 3000 IR. Para la medición del potencial de hidrogeno se utilizó un pHmetro digital (Bench pH/Conductivity meter PC 510), expresando los resultados en unidades de pH (método 4500-H+B). La alcalinidad se determinó por titulación y es expresada en mg/L de CaCO<sub>3</sub> (método 2320 B). La dureza se realizó por titulación utilizando como agente titulante una solución EDTA y es expresada en mg/L de CaCO<sub>3</sub> (Método 2340 C).

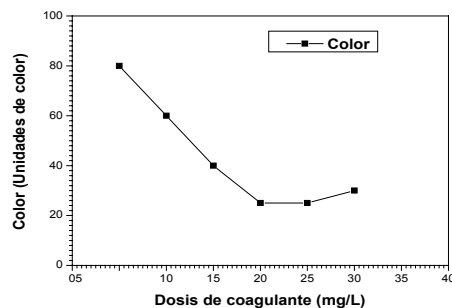
## RESULTADOS

En diferentes escritos se sugiere que las proteínas presentes en los materiales vegetales utilizados, son los ingredientes activos responsables de la coagulación [15]. Al comparar el contenido de proteína del polvo de semilla de la *C. fistula* (5,91%) con los contenidos de proteína de los materiales vegetales: Castaño (*Aesculus hippocastanum*), Roble común (*Quercus robur*), Roble turco (*Quercus cerris*) y Castaño europeo (*Castanea sativa*) utilizados por Sciban [7], se encuentra que son similares en sus contenidos de proteínas las cuales varían entre 5,1% y 6,0%.

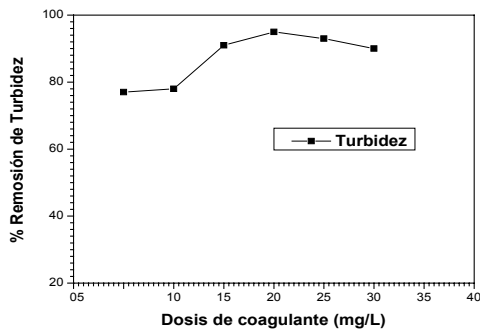
En la Figura 1 se muestran las variaciones del color en relación a la dosis del coagulante aplicado. Como se puede observar las unidades de color disminuyen con el incremento de la dosis del coagulante, alcanzando un valor mínimo de 25 UPC para una dosis entre 20 y 25 ppm. La normativa colombiana vigente para aguas de consumo humano [18] establece valores para el color de 15 unidades expresada como UPC por lo que los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la dosis de coagulante de 20 ppm reduce los valores de color hasta 25 unidades, siendo la remoción de color del 87,5% de su valor inicial.

La Figura 2 muestra que el aumento progresivo de las dosis del coagulante elaborado con el polvo de semilla de la *C. fistula* (5, 10, 15 y 20 ppm) conduce a una disminución de la turbidez. Con una dosis de 20 ppm de coagulante se alcanza un valor mínimo para la turbidez de 6 UNT, para una remoción de 95% respecto de su valor inicial. El valor de la turbidez se encuentra por encima del límite permisible (2 UNT) y fijado por la norma para aguas de consumo humano. Igualmente en las Figuras 1 y 2 se observa que cuando

**Figura 1.** Comportamiento del Color en relación a la dosis de Polvo de Semilla de *Cassia fistula*.



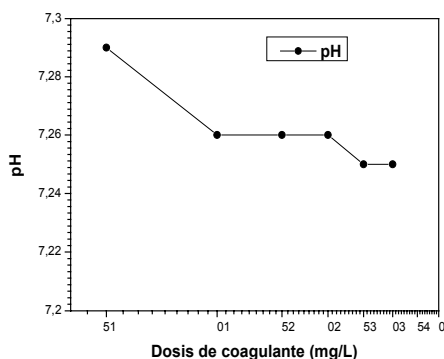
**Figura 2.** Remoción de Turbidez (%) Vs dosis de coagulante.



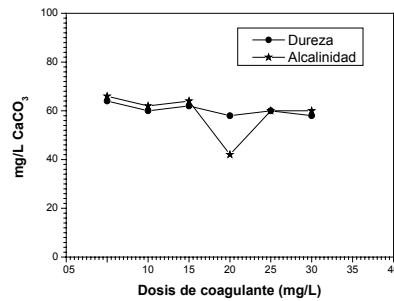
la dosis de coagulante es de 25 y 30 ppm, los valores de la turbidez y de color tienden a aumentar. La razón de tal comportamiento obedece a que una desestabilización máxima es lograda cuando la dosis de coagulante compensa exactamente las cargas de las partículas (punto isoelectrico), razón por la cual existe una relación estequiométrica entre la concentración de partículas y la dosis de coagulante requerida. Con dosis mayores de coagulante, se vuelve a obtener una re-estabilización de la dispersión traduciéndose en un aumento del color y la turbidez.

En la Figura 3 se muestran las variaciones del pH para las diferentes dosis de coagulante. El pH, en relación con la dosis del coagulante aplicado presentó una tendencia general a mantenerse con el incremento de la dosis del coagulante y con respecto a los valores de turbidez. La normativa vigente para aguas de consumo humano establece valores de pH de 6,5–9,0 por lo que los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que las dosis de coagulantes de 5-30 mg/L

**Figura 3.** Comportamiento del pH en relación a la dosis de coagulante.



**Figura 4.** Comportamiento de la dureza y la alcalinidad con respecto a la dosis de coagulante.



mantiene los valores de pH en un margen óptimo o aceptable para niveles de turbidez de 6 hasta 25 NTU.

La Figura 4 muestra las variaciones de la alcalinidad total expresada como mg/L de CaCO<sub>3</sub> y la variación de la dureza total en mg/L de CaCO<sub>3</sub>. La alcalinidad total y la dureza total no tienen variación significativa con respecto a la dosis de coagulante aplicado. Los resultados arrojados muestran que a una dosis de 20 mg/L los valores de la alcalinidad total se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa al igual que la dureza total (200 y 300 mg/L respectivamente).

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de esta investigación los cuales evidencian la eficiencia del polvo de semilla de la *C. fistula* como coagulante primario sin la adición de sustancias químicas, las cuales son requeridas cuando se usa el sulfato de aluminio para evitar el incremento de la acidez del agua, que la hace peligrosamente corrosiva.

El agente coagulante utilizado en esta investigación es capaz disminuir los niveles de turbidez y color a niveles permisibles.

**Cuadro 2.** Resumen de los resultados obtenidos para las diferentes dosis de coagulante

	D	C	T	pH	AT	DT	ST
AC	-	200	120	6,5	40	72	432
1	5	80	27	7,2	66	64	
2	10	60	26	7,2	62	60	
3	15	40	10	7,2	64	62	
4	20	25	6	7,2	42	58	110
5	25	25	8	7,2	60	60	
6	30	30	12	7,2	60	58	

AC: Agua cruda; D: Dosis (mg/L); Color (UPC); T: Turbidez (NTU); AT: Alcalinidad total (mg/L CaCO<sub>3</sub>); DT: Dureza total (mg/L CaCO<sub>3</sub>); ST: Sólidos totales (mg/L)

Utilizando dosis de 20 ppm de polvo de semilla de *C. fistula* se logra una coagulación efectiva. El polvo de semilla de la *C. fistula* no afecta de mayormente los valores de pH, alcalinidad total y dureza total para la dosis óptima de 20 mg/L del coagulante, por encontrarse estos dentro de los rangos establecidos en la Resolución 2115 de 2007 [16]; por lo que no requiere la adición de sustancias químicas para ajustar estos valores según lo establecido por la norma colombiana vigente para agua de consumo humano.

## CONCLUSIONES

El presente estudio propone el uso del polvo de la semilla de la *C. fistula* como un coagulante natural alternativo para el tratamiento de aguas crudas. Las pruebas de jarras realizadas confirman su poder coagulante encontrando que con una dosis de 20 mg/L del agente coagulante, se alcanzan valores mínimos de 25 UPC para el color y 6 NTU para turbidez; demostrando que la *C. fistula* es un coagulante natural, prometedor y eficaz para la sustitución de coagulantes inorgánicos nocivos tales como el alumbre en el proceso de coagulación de aguas crudas.

## REFERENCIAS

- [1] KATAYON, S., NOOR, M., KIEN-TAT W., HALIM, G.A., THAMER, A.M., and BADRONISA, Y. Effect of natural coagulant application on microfiltration performance in treatment of secondary oxidation pond effluent. *Desalination*, 204, 2007, p. 204-212.
- [2] BERGAMASCO, R., BOUCHARD, C., VIEIRA da SILVA, F., HESPANHOLD, M., REIS, M. and FAGUNDES, M.R. An application of chitosan as a coagulant/flocculant in a microfiltration process of natural water. *Desalination*, 245, 2009, p. 205-213.
- [3] YIN, C. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45, 2010, p. 1437-1444.
- [4] PRITCHARD, M., MKANDAWIRE, T., EDMONDSON, A., O'NEILL, J. and KULULANGA, G. Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 2009, p. 799-805.
- [5] ŠČIBAN, M., KLAŠNJA, M., ANTOV, M. and ŠKRBIĆ, B. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut. *Bioresource Technology*, 100 (24), 2009, p. 6639-6643.
- [6] BHUPTAWAT, H., FOLKARD, G.K. and CHAUDHARI, S. Innovative physico-Chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, 142 (2007), p. 477-482
- [7] GUZMÁN L., VILLABONA, A. y TEJADA, C. Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1) 2013, p. 253-262.
- [8] PRITCHARD, M., CRAVEN, T., MKANDAWIRE, T., EDMONSON, A.S. and O'NEILL J.G. Comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulant in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and chemistry of the Earth*, 35, 2010, p. 798-805.
- [9] KHALAFALLA, M., ABDELLATEF, E., DAFALLA, H., NASSRALLAH, A., ABOUL-ENEIN, K., LIGHT-FOOT D., EL-DEEB F. and EL-SHEMY H. Active principle from *Moringa oleifera* Lam Leaves effective against two leukemias and a hepatocarcinoma. *African Journal of Biotechnology*, 9(49), 2010, p. 8467-8471.
- [10] ANJORIN, T., IKOKOH, P. and OKOLO, S. Mineral composition of *Moringa oleifera* leaves, pods and seeds from two regions in Abuja, Nigeria. *International Journal of Agricultural and Biological engineering*, 12, 2010, p. 431-434.
- [11] GILMAN, E.F. and WATSON, D.G. *Cassia fistula: Golden-shower*. Florida (USA): Fact Sheet ST-127, Florida Cooperative Extension Service, University of Florida, ENH286, 1993, 3 p.
- [12] SÁNCHEZ, J. y CASCANTE, A. *Árboles ornamentales del Valle Central de Costa Rica: especies con floración llamativa*. 1ª ed. San José (Costa Rica): Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Museo Nacional, 2008, 30 p.
- [13] COLOMBIA. DEFENSORÍA DEL PUEBLO. Diagnóstico de la calidad del agua para consumo humano año 2010. Bogotá (Colombia): 2011, p. 15-35.
- [14] SATTERFIELD, Z. *Tech Brief. Jar testing*. Spring, 5(1), 2005, p.1-4
- [15] UNITED STATES. THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). *Standard Methods for*

- the Examination of Water and Wastewater. New York (USA): ed. 0022, 2012, p. 1496.
- [16] COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 2115 de junio de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá (Colombia): 2007, p. 2.