

Alternativas de sostenibilidad ambiental

para comunidades en el departamento de Córdoba

Jorge Villadiego Lorduy
Compilador



Universidad
Pontificia
Bolivariana

338.162
A466

Villadiego Lorduy, Jorge, compilador
Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba /
Jorge Villadiego Lorduy – 1 edición – Medellín: UPB, 2020.
145 páginas, 16.5x23.5 cm.
ISBN: 978-958-764-908-6 (Versión digital)

1. Sostenibilidad ambiental -- Córdoba (Colombia) – 2. Agroecología -- Córdoba
(Colombia) – I. Título

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Autores varios
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba

ISBN: 978-958-764-908-6 (versión digital)
DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-908-6>
Primera edición, 2020
Escuela de Ingenierías y Arquitectura
Grupo de Investigación en Calidad de aguas, modelamiento hídrico y ambiental, CAMHA.
Environment & Technology Foundation. Grupo de Investigación: Gestión ambiental. Proyecto: Acciones para la gestión y la sostenibilidad ambiental territorial: Casos del departamento de Córdoba y la región Caribe.

Arzobispo de Medellín y Gran Canciller UPB: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Rector Seccional Montería: Pbro. Jorge Alonso Bedoya Vásquez

Vicerrector Académico Sede Medellín: Álvaro Gómez Fernández

Vicerrector Académico Seccional Montería: Roger Góez Gutiérrez

Editor: Juan Carlos Rodas Montoya

Gestora Editorial Seccional Montería: Flora del Pilar Fernández Ortega

Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa

Diseño y diagramación: Ana Mercedes Ruiz Mejía

Imagen portada: Pixabay

Corrección de Estilo: Delio David Arango

Dirección Editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2020
Correo electrónico: editorial@upb.edu.co
www.upb.edu.co
Telefax: (57)(4) 354 4565
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 2011-03-08-20

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Capítulo 5.

Coagulante natural de tuna (*Opuntia ficus indica*) para la potabilización de agua

Pedro Payares Ramos²⁴
Johana Rodiño Argüello²⁵
Jorge Villadiego Lorduy²⁶
Kevin Rodríguez González²⁷
Adolfo Cortecero Bossio²⁸
Nubia Garzón Barrero²⁹

Resumen

La presente investigación evaluó la capacidad coagulante de la tuna fresca (*Opuntia ficus - indica*), en muestras de agua cruda tomadas del caño Bugre, con turbiedades iniciales de 37,65, 145, 185 y 247,67 UNT. A través de ensayos de jarras, se optimizaron las condiciones de coagulación en función del porcentaje de remoción de turbidez, para dosis entre 250 y 1250 mg/L. Con dosis óptima de 750 mg/L, la eficiencia de remoción de turbiedad varió entre 54,93 % y 97,32 % para un tiempo de floculación de cinco minutos y de 15,81 % y 98,63 % para un tiempo de floculación de diez minutos, y el tiempo de sedimentación se

24 Ingeniero sanitario y ambiental. Director Environment & Technology, Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

25 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Magíster en Ciencias Ambientales. Correo: johana.rodino@upb.edu.co

26 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Email: jorge.villadiegol@upb.edu.co

27 Ingeniero sanitario y ambiental. Consultor ambiental. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

28 Msc. en Gestión Ambiental. Asesor ambiental en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

29 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. en Ciencias de los Materiales. Correo: nubia.garzonb@upb.edu.co

optimizó desde dos minutos. Con la misma dosis óptima, la remoción de DQO fue del 75 %, la de SSED, 80 %; la de coliformes totales, 49 % y la de *E. coli*, 73 %. Al mismo tiempo se analizó el comportamiento del pH y la alcalinidad de las muestras de agua tratadas, las cuales no presentaron variaciones significativas.

Palabras clave: dosificación; agua cruda; floculación; remoción; turbidez.

Abstract

The coagulant capacity of the fresh Tuna (*Opuntia ficus-indica*) was evaluated in samples of raw water taken from the Bugre canal, with initial turbidities of 37.65, 145, 185 and 247.67 NTU. Through jar tests, the coagulation conditions were optimized according to the percentage of turbidity removal, for doses between 250 and 1250 mg/L. With an optimum dose of 750 mg/L, the turbidity removal efficiency varied between 54.93 % and 97.32 % for a flocculation time of 5 minutes and 15.81 % and 98.63 % for a flocculation time of 10 minutes, and the sedimentation time optimized from 2 minutes. With the same optimal dose, COD removal was 75 %, SSED, 80 %; total coliforms, 49 % and *E. coli*, 73 %. At the same time, the behavior of the pH and the alkalinity of the treated water samples were analyzed, which did not show significant variations.

Key words: dosage; raw water; floculación; removal; turbidity.

5.1 Introducción

La calidad del agua para consumo humano es uno de los principales problemas asociados al bienestar de las comunidades, pues existen diversas enfermedades de origen hídrico por consumir aguas no aptas que comprometen la salud pública, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2007). Las poblaciones rurales son las que más sufren enfermedades hídricas por la falta de inversión de los entes gubernamentales en acueductos (Ávila, 2015). Se entiende que el consumo de agua potable se asocia a zonas de considerable densidad poblacional y que en zonas rurales dispersas o marginales, usualmente no se cuenta con sistemas de tratamiento centralizado. Son, justamente, este tipo de comunidades las que se enfrentan al consumo de agua de mala calidad y las que motivan principalmente la búsqueda e implementación de alternativas de potabilización (OMS, 2012).

En este estudio se muestra la optimización de las condiciones de coagulación de la tuna fresca en agua cruda del caño Bugre y su incidencia sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua tratada como la turbiedad, pH, alcalinidad total, demanda química de oxígeno, sólidos sedimentables, coliformes totales y *E. coli*. Cabe aclarar que se analizaron estas características debido a que si bien el caño Bugre es una fuente de agua natural que se alimenta en la temporada de lluvias del río Sinú, con el paso del tiempo y los problemas asociados a la cuenca del mismo, hoy día se evidencia que su caudal no solo depende del río, sino también de los vertimientos líquidos y residuos sólidos que los habitantes adyacentes a su curso le adicionan a su paso. Finalmente, la importancia de este estudio se centró en contribuir en la localidad, una alternativa de potabilización de agua cruda que contribuya a lograr un tratamiento primario para producir agua más limpia y segura apuntando a una medida de saneamiento y desarrollo sostenible en una población determinada, así mismo quedará la iniciativa para que los resultados puedan ser implementados, evaluados y mejorados *in situ* en la zona de estudio.

5.2 Marco teórico

Uno de los mayores problemas que se está presentando actualmente es la disponibilidad de agua dulce, vital para la supervivencia de los seres humanos (Ramírez y Jaramillo, 2015). Es de saber que los tratamientos para la clarificación de las aguas son importantes para la sociedad debido a que de esto depende la calidad de agua que se consume (Solís, Laines y Hernández, 2012). Estudios realizados en Brasil y México se han enfocado en tratamientos de clarificación de las aguas al comparar coagulantes inorgánicos, como sulfato de aluminio con semillas de moringa, y al mezclar el almidón de yuca con sulfato de aluminio, concluyendo ambos que estos coagulantes podrían sustituir a los coagulantes químicos y ayudar en el tratamiento de aguas superficiales (Lédo, Lima, Paulo y Duarte, 2009; Solís *et al.*, 2012).

Investigadores colombianos también han estudiado la clarificación del agua usando coagulantes naturales como nirmali (*Strychnos potatorum*), granos tostado de maíz (*Zea mays*), curcas (piñón mexicano), rosa de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). Estos estudios muestran que los coagulantes naturales, a diferencia de los sintéticos, tienden a garantizar que no existan alteraciones del pH y la alcalinidad del agua tratada (Guzmán, Villabona, Tejada y García, 2013).

Otros estudios también realizados en Colombia sobre los coagulantes naturales, específicamente sobre la tuna (*Opuntia ficus-indica*), han mostrado los valores máximos de remoción de turbidez en el agua, llegando a remociones de 85,4 % con dosis de 50 mg/L y 40 rpm, y a remociones de 52,6 % con dosis de 75 mg/L y 30 rpm. Este comportamiento se relaciona con las condiciones en que se realizaron las pruebas (Rodríguez, 2008).

5.3 Metodología

Las muestras de agua cruda para este estudio fueron recolectadas en el caño Bugre, efluente del río Sinú, a la altura de la vereda Tambora, municipio de San Pelayo, departamento de Córdoba, Colombia. Se realizaron inicialmente tres muestreos simples entre los meses de febrero y junio de 2017, y un cuarto muestreo en el mes de noviembre del mismo año. A cada muestra de agua, se midió por triplicado los parámetros fisicoquímicos de interés (T, pH, turbidez, alcalinidad total). Los instrumentos utilizados para cada parámetro fueron potenciómetro SCHOTT instruments Lab 850 y por último el método de titulación potenciométrica con ácido sulfúrico 0,02N. Se aplicó los métodos normalizados para el análisis de aguas potable y residual según la American Public Health Association (APHA, 2005). Por otra parte, el material vegetal (tuna, *Opuntia ficus indica*) fue seleccionado considerando la información de estudios previos que demuestran su actividad coagulante, que fuera de fácil adquisición y por su composición de nutrientes, en especial por el significativo contenido de carbohidratos (Arboleda, 2000).

Para preparar el coagulante, se tomaron los tallos de la tuna seleccionados y se les retiraron las espinas y la epidermis. Posteriormente la pulpa se cortó en pequeños trozos de ± 2 que fueron macerados y triturados con un rayador manual para obtener pequeñas partículas (Villabona, Paz y Martínez, 2013). El mucílago fresco producto de este proceso fue aplicado como coagulante natural en los ensayos de jarras. Para determinar la dosis óptima en función de la menor cantidad de coagulante necesaria para remover la mayor turbidez del agua cruda, se realizaron test de jarra en un floculador E&Q modelo F6-330-T (Norma ASTM-D2035-08; NTC 3903 de 2010; RAS título C, 2000). Se añadieron cinco dosis del extracto coagulante: 250, 500, 750, 1000, 1250 mg/L a cada muestra de agua con tres niveles de turbidez inicial de 37,65, 145 y 247,67 UNT, que dependieron de las condiciones ambientales y de las características propias del caño Bugre en los días que se realizaron los muestreos, para un total de quince muestras. El volumen final en las jarras fue 800 mL. Las condiciones de los test de jarras fueron:

- Mezcla rápida: 200 rpm durante 1 minuto.
- Mezcla lenta: se ensayaron por separado dos tiempos de mezcla lenta, 40 rpm durante 10 minutos y 40 rpm durante 5 minutos.

El contenido de los *beakers* se dejó sedimentar durante veinte minutos, después de los cuales se midió la turbidez residual con un turbidímetro HACH 2001P y los demás parámetros fisicoquímicos de interés, pH y alcalinidad de acuerdo con la American Public Health Association (APHA, 2005). La eficiencia de coagulación se determinó en función de la remoción de turbidez y se calculó con la siguiente ecuación (Antov *et al.*, 2012):

$$\%Remoción = \frac{Turbidez_{inicial} - Turbidez_{final}}{Turbidez_{inicial}} * 100 \text{ [Ecuación 1].}$$

A continuación, en la tabla 4 se muestran los valores de las variables sugeridos por el diseño experimental, teniendo en cuenta los niveles de turbiedad del agua cruda del caño Bugre.

Tabla 4. Condiciones de los test de jarras

Dosis del coagulante (mg/L)	Tiempo de mezcla lenta (min)
250	5
	10
500	5
	10
750	5
	10
1000	5
	10
1250	5
	10

- 3 niveles de turbiedad inicial: 37.65, 145 y 247.67 UNT
- Condiciones de mezcla rápida: 200 rpm/1min.
- Velocidad de mezcla lenta: 40 rpm.
- Tiempo de sedimentación: 20 minutos.

Fuente: elaboración propia.

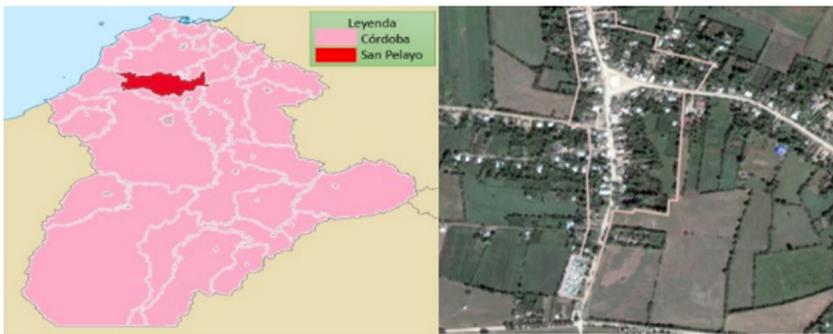
Para el análisis estadístico, se utilizó un diseño factorial generando un modelo cuadrático y se realizó un análisis de varianza (Anovas) para determinar la igualdad y las medidas de porcentaje de remoción de turbiedad (% RT), pH, alcalinidad y tiempos de mezcla lenta en los diferentes tratamientos. El análisis estadístico y el análisis gráfico se desarrollaron a través del *software* Statgraphics Centurión XVI y Microsoft Excel. Por último, una vez identificado el rango de dosis óptima del coagulante y optimizado el tiempo de floculación, se procedió a tomar una cuarta muestra de agua cruda con turbiedad de 185 UNT. La cual se sometió al análisis de turbiedad, pH, alcalinidad total, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos sedimentables (SSED), coliformes totales (CT) y *E. coli*. Para verificar la remoción de estas últimas con el coagulante.

5.4 Resultado y discusión

5.4.1 Área de estudio

El área de estudio de esta investigación fue la vereda Tambora, perteneciente al corregimiento de San Isidro. El cual se encuentra ubicado en el oriente del municipio de San Pelayo-Córdoba, aproximadamente a $8^{\circ}49' - 8^{\circ}53' \text{ N}$ y $75^{\circ}48' - 75^{\circ}48' \text{ O}$ del meridiano de Greenwich (Alcaldía de San Pelayo, 2017) (figura 32).

Figura 32. Ubicación geográfica área de estudio



Fuente: Google Earth, 2017.

5.4.2 Características fisicoquímicas de las muestras de agua cruda

Los muestreos de agua cruda cubrieron parte de la temporada seca y de lluvias en la región en el año 2017. A continuación, en la tabla 2 se indican las condiciones iniciales de las muestras de agua cruda.

Tabla 5. Características fisicoquímicas del agua cruda

Características del agua cruda	Turbiedad (UNT)	pH	Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	T (°C)
Muestra 1	37,65	7,26	124	27
Muestra 2	145	7,51	36	28
Muestra 3	247,67	7,07	38	26.5

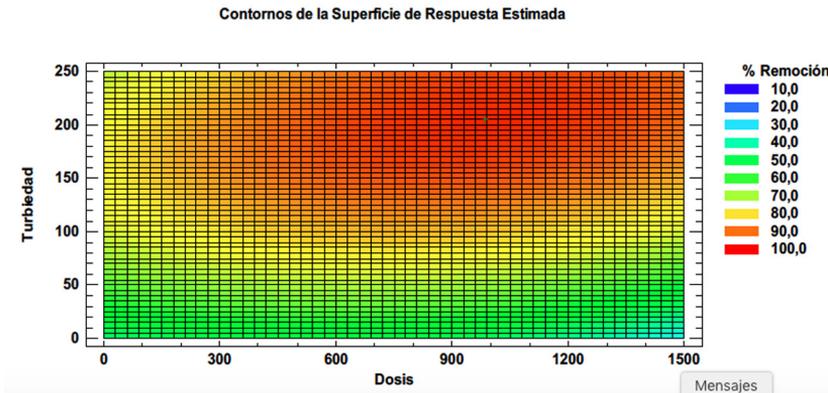
Fuente: elaboración propia.

5.4.3 Eficiencia de coagulación de la tuna fresca

Para determinar la eficiencia del coagulante a base de tuna se realizó las condiciones de operación en los test de jarras y midiendo los parámetros físico-químicos de interés antes y después de la aplicación del coagulante. En las figuras 33 y 34 se muestran los diagramas de contorno de la actividad coagulante obtenidos con el modelo de superficie de respuesta para el coagulante a base de tuna, donde se puede observar el comportamiento de la dosis (eje x), turbiedad inicial (eje y) y porcentaje de remoción de turbiedad (contornos coloreados). De acuerdo con la figura 34, se puede observar que para todo el rango de dosis ensayadas (250 a 1.250 mg/L) y niveles de turbiedad inicial mayores a 100 UNT con un tiempo de mezcla lenta de cinco minutos, se logra llegar a remociones cercanas al 100 %; ninguna de las dosis logra remover el 100 % de turbiedades bajas (menores a 100 UNT), lográndose un máximo de remoción de hasta el 80 %.

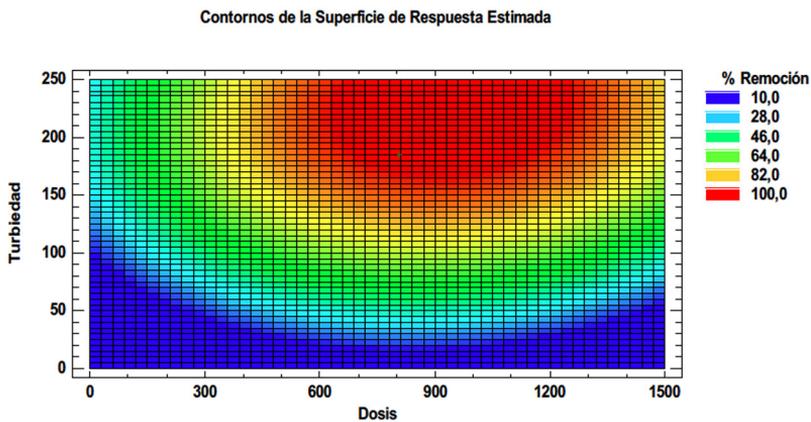
La figura 34 muestra la relación entre la dosis del coagulante, la turbidez residual y el porcentaje de remoción para un tiempo de mezcla lenta de 10 minutos. En este gráfico de contorno se puede observar que para el rango de dosis de 500 a 1250 mg/L y turbiedades mayores a 150 UNT, se llega a remociones cercanas al 100 %; ninguna de las dosis logra remover el 100 % de turbiedades bajas (menores a 150 UNT), lográndose un máximo de remoción de hasta el 80 %.

Figura 33. Gráfico de contorno para la actividad coagulante con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Gráfico de contorno para la actividad coagulante con tiempo de mezcla lenta de 10 minutos



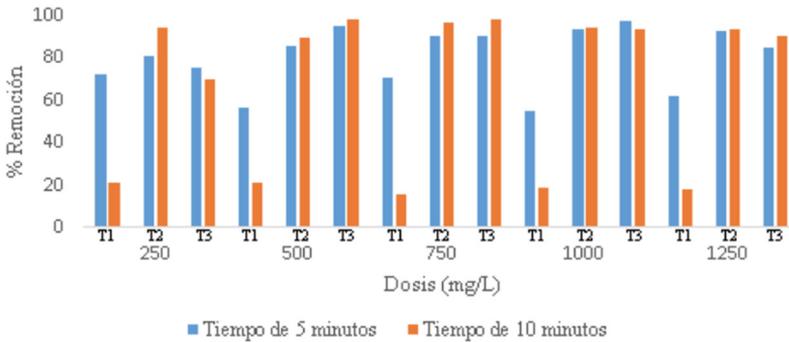
Fuente: elaboración propia.

Es evidente que el coagulante natural a base de tuna no fue eficiente en turbiedades bajas. Esto se puede explicar por la influencia de la dosis y de la turbiedad del agua cruda, así como las condiciones operativas del test de jarras. Para cada turbiedad existe una cantidad estequiométrica

de coagulante, con la que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima (Andía, 2000). Los resultados de la actividad coagulante del mucílago de tuna están de acuerdo con los reportados por Villabona *et al.*, (2013), donde se encontró que el polvo extraído de la plana *Opuntia ficus-indica*, tiene la capacidad de remover el 85 % de turbiedad en aguas crudas con alta turbidez inicial, y que no altera significativamente el pH. De acuerdo con Olivero, Aguas, Mercado, Casas y Montes (2014) también se puede evidenciar que la dosis de coagulante no influye mayormente en la clarificación del agua, como sí lo haría el tipo de coagulante y las condiciones del test de jarras.

El rango de dosis óptima recomendado para las condiciones operativas del test de jarras es de 500 a 750 mg/L, logrando ser las menores dosis que remueven la mayor turbiedad del agua, y las de mejor relación costo-beneficio. Para ambos tiempos de mezcla lenta, el comportamiento de remoción de turbidez fue similar pero un poco mayor con tiempo de 10 minutos para turbiedades media y alta (figura 35).

Figura 35. Remoción de turbiedad para los dos tiempos de mezcla lenta, con turbiedad inicial: T1 = 37.65 UNT, T2 = 145 UNT, T3 = 247.67 UNT

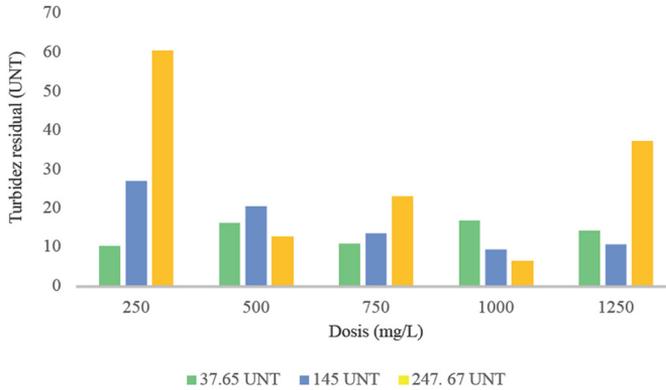


Fuente: elaboración propia.

Aunque a través del análisis de varianza (ANOVAS) no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos tiempos de mezcla lenta (cinco y diez minutos) sobre la remoción de turbiedad para todas las dosis y turbiedades ensayadas; por lo que se puede optimizar esta condición disminuyendo el tiempo hasta cinco minutos de agitación

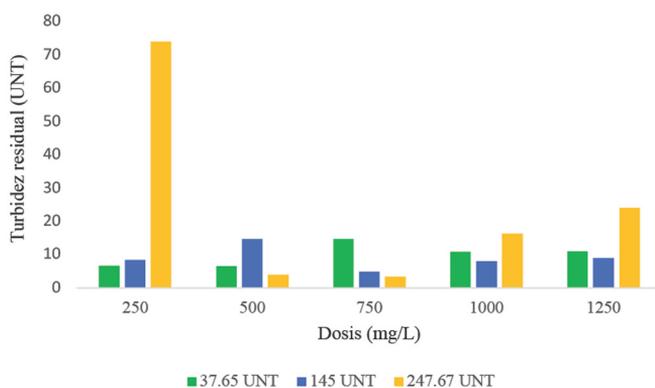
a 40 rpm. Consecuentemente para conocer el comportamiento de la turbidez residual en las muestras de agua tratadas, se realizaron gráficos de columnas que muestran la relación entre las dosis aplicadas vs. turbidez residual con respecto a los diferentes valores de turbidez inicial del agua cruda y tendencias (figuras 36 y 37). En estas figuras la tendencia de los valores finales de turbidez o turbiedad residual para el agua tratada con el coagulante a base de tuna fresca, se observa que con las dosis de 250 y 1250mg/L (dosis más baja y alta respectivamente) y el mayor nivel de turbiedad inicial (248 UNT), se obtiene la menor remoción y por ende los valores más altos de turbiedad residual, entre 25 y 60 UNT. La mayoría de las dosis ensayadas revelan alta remoción de turbiedad y valores bajos de turbidez residual, el mejor rango de dosis se da entre 500 y 1000 mg/L, para todos los niveles de turbiedad inicial, resultados que se comprobaron con la metodología de superficie de respuestas visualizadas a través de los gráficos de contorno.

Figura 36. Turbiedad residual con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Turbidez residual con tiempo de mezcla lenta de diez minutos

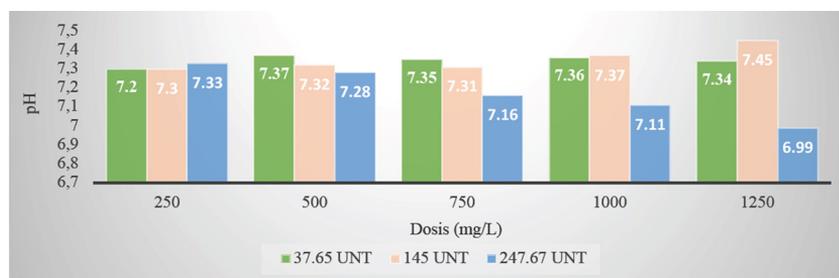


Fuente: elaboración propia.

5.4.4 Comportamiento del pH

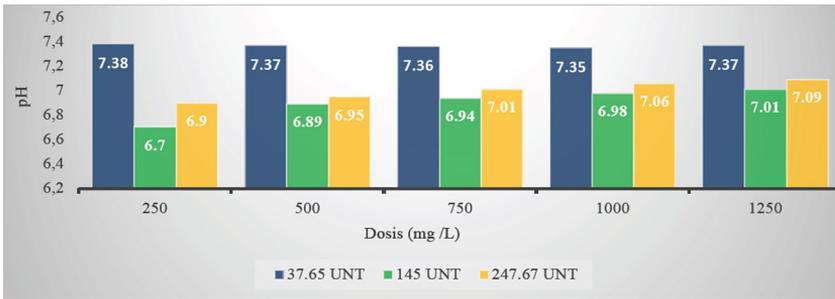
El pH de las muestras de agua tratadas tuvo valores entre 6,7 y 7,45. Con una confiabilidad del 95 %, los valores de pH no presentaron variaciones significativas en el rango de dosis ensayadas, cuando se aplicó el coagulante natural. Los resultados de pH para las muestras de agua tratada, se encuentran dentro los valores admisibles por la norma colombiana, Resolución 2115 del 2007 (pH = 6,5 - 9) (figuras 38 y 39).

Figura 38. Comportamiento del pH con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Comportamiento del pH con tiempo de mezcla lenta de diez minutos

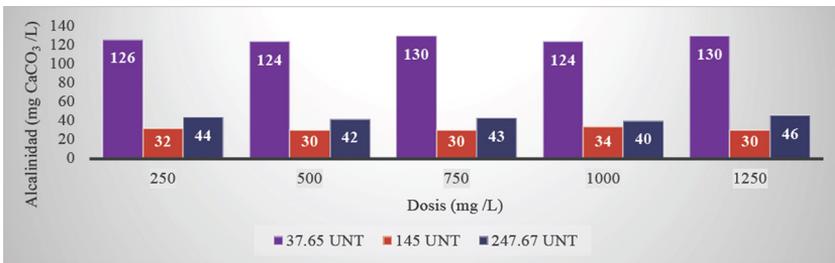


Fuente: elaboración propia.

5.4.5 Comportamiento de la alcalinidad

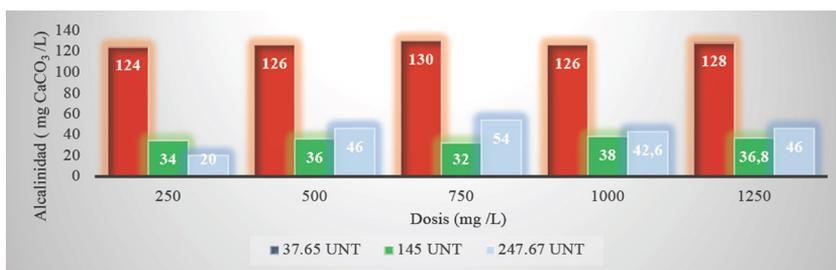
La alcalinidad de las muestras de agua tratada tuvo valores entre 20 y 130 mg CaCO₃/L. Estas variaciones de la alcalinidad total no fueron significativas, con una confiabilidad del 95 % esta característica se mantiene constante en el rango de dosis ensayadas, con valores menores al aceptable por la norma colombiana, Resolución 2115 del 2007 (200 mgCaCO₃/L) (figuras 40 y 41).

Figura 40. Comportamiento de la alcalinidad con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Comportamiento de la alcalinidad con tiempo de mezcla lenta de diez minutos



Fuente: elaboración propia.

Una vez identificado los rangos de dosis óptima que lograron remover la mayor turbiedad del agua, sin alterar el pH y la alcalinidad del agua, y optimizado el tiempo de mezcla lenta, se procedió a verificar si las dosis propuestas (500 y 750 mg/L) eran capaces de remover DQO, SSED, coliformes totales y *E. coli*, para lo cual se caracterizó y trató una nueva muestra de agua cruda, obteniendo los siguientes resultados (tablas 6 y 7).

Tabla 6. Características de la muestra de agua con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos y dosis de 500 mg/L

Características	Dosis		
	500 mg/L		
	Valor inicial	Valor final	Porcentaje de remoción
Turbiedad (UNT)	185	13,2	95,3
pH	8,02	7,95	Δ pH = 0,07 Promedio = 7,97
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	202	190	Δ Alc. = 12 Promedio = 190.0
DQO (mg O ₂ /L)	42,66	53,33	0,1
SSED (mL/L)	0,40	0,08	50
Coliformes totales (NMP/100mL)	83	80	4,5
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	22	21	1,2

Nota: a los valores de pH y alcalinidad se les hizo un promedio y se calculó su diferencia con respecto al valor inicial y final (Δ pH y Δ Alc.).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Características de la muestra de agua con tiempo de mezcla lenta de cinco minutos y dosis de 750 mg/ L

Características	Dosis		
	750 mg/L		
	Valor inicial	Valor final	Porcentaje de remoción
Turbiedad (UNT)	185	10,2	98,1
pH	8,02	8,00	Δ pH = 0,02 Promedio = 7,97
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	202	185	Δ Alc. = 17 Promedio = 190,0
DQO (mg O ₂ /L)	42,66	10,66	75,1
SSED (mL/L)	0,40	0,10	80,0
Coliformes totales (NMP/100mL)	83	65	49,4
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	22	18	72,7

Nota: a los valores de pH y alcalinidad se les hizo un promedio y se calculó su diferencia con respecto al valor inicial y final (Δ pH y Δ Alc.)

Fuente: elaboración propia.

Los valores de DQO indican que hay presencia de materia orgánica tanto en el agua cruda como en el agua clarificada, al igual que microorganismos patógenos cuantificados como coliformes totales y *E. coli*. Es de saber que la materia orgánica, los coliformes totales y la *E. coli* no deben estar presentes en agua potable, por lo que seguido al proceso de clarificación, se debe aplicar la desinfección al agua tratada.

En las tablas 6 y 7 se observó que la dosis de 750mg/L, era la dosis óptima, al tener mayor actividad coagulante que la de 500mg/L. Una vez identificada la dosis óptima, se procedió a optimizar el tiempo de sedimentación, tomando una muestra de agua cruda de 185 UNT y sometiéndola a las siguientes condiciones del test de jarras: mezcla rápida 200rpm/1min, mezcla lenta 40rpm/5min y tiempo de sedimentación de 1 a 20 minutos. En la tabla 8, para cada minuto de sedimentación se logran remociones significativas de turbiedades cercanas o mayores al 90 %, pero el mejor porcentaje de remoción del 98,1 % con turbiedad

residual de hasta 3,5 UNT, se logra a los 20 minutos de reposo. De acuerdo con estos resultados y lo indicado por los análisis de varianza (ANOVAS), no hubo diferencias significativas entre los porcentajes de remoción de turbiedad para los diferentes tiempos de sedimentación, por lo que se pueden sugerir tiempos de sedimentación desde un minuto, preferiblemente usando las muestras de agua superficiales de las jarras, a no más de 5 cm de profundidad.

Tabla 8. Turbiedad residual y porcentaje de remoción en los diferentes tiempos de sedimentación

Tiempo de sedimentación (minutos)	Dosis: 750mg/L Tiempo de mezcla lenta: cinco minutos	
	Turbiedad residual	Porcentaje de remoción de turbiedad
1	22,0	88,13
2	9,4	94,93
3	8,3	95,54
4	6,9	96,27
5	5,1	97,26
6	5,9	96,82
7	19,8	89,31
8	6,9	96,26
9	7,3	96,08
10	8,2	95,59
11	5,9	96,82
12	20,1	89,13
13	6,2	96,65
14	8,0	95,66
15	5,4	97,06
16	7,1	96,17
17	8,5	95,41
18	7,7	95,83
19	5,5	97,01
20	3,5	98,09

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis anterior, se recomiendan las siguientes condiciones de coagulación para el uso de tuna fresca como coagulante natural: dosis óptima de 750 mg/L, mezcla rápida de 200rpm por un minuto, mezcla lenta de 40 rpm por cinco minutos y tiempo de sedimentación desde un minuto, para un total de siete minutos, disminuyendo así los tiempos del proceso de clarificación, con miras a su aplicación *in situ*.

5.5 Conclusiones

El mucílago de tuna fresca tiene un alto poder coagulante, logra valores de remoción de turbiedad de hasta el 98 %, QDO de 75 %, SSED del 80 %, coliformes totales 49 % y *E. coli* 73 %, sin alterar el pH y la alcalinidad del agua tratada.

La dosis óptima del coagulante natural a base de tuna fresca tuvo valor de 750 mg/L siendo una cantidad pequeña, de fácil adquisición, preparación y aplicación.

La Tuna fresca representa una alternativa de coagulación para el tratamiento de aguas en comunidades rurales, vulnerables, con pocos recursos financieros y sin acceso a agua potable.

Las condiciones de operación del test de jarras se optimizaron disminuyendo el tiempo de mezcla lenta hasta cinco minutos y el tiempo de sedimentación desde dos minutos, garantizando así remociones de turbiedad mayores al 90 %, lo que representa un tiempo de duración total de tan solo ocho minutos.

La tuna fresca representa una alternativa de coagulación para el tratamiento de aguas en comunidades rurales, vulnerables, con pocos recursos financieros y sin acceso a agua potable.

Referencias

- Alcaldía de San Pelayo. (2016). Territorios, corregimiento San Isidro. <http://www.sanpelayo-cordoba.gov.co/index.shtml?apc=v-xx1-&x=2675697>
- American Public Health Association. APHA. (2005). *Standard methods for examination of water and wastewater* (21 ed.). APHA.
- Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Antov M., Sciban M. y Prodanovic J. (2012). Evaluation of the efficiency of natural coagulant obtained by ultrafiltration of common bean seed extract in water turbidity removal. *Ecological Engineering*, 49, 48– 52.
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. McGraw Hill.
- Ávila, C. (2015, 22 de marzo). ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15445939>
- Guzmán, L., Villabona, A., Tejada, C. y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Rev.U.D.C.A. Act. & Div. Cient.*, 16(1), 253-262.
- Lédo, P., Lima, R., Paulo, J. y Duarte, M. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleífera para la depuración de aguas con baja turbiedad. *Información Tecnológica*, 20(5), 3-12.
- Ministerio de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007, 22 de junio). Resolución número 2115 por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua potable para el consumo humano. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- Norma ASTM-D2035 (2008). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*. ASTM International.
- Olivero, R., Aguas, Y., Mercado, I., Casas D. y Montes, L. (2014). Utilización de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances Investigación en Ingeniería*, 11(1), 1-6 .<http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art7.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. OMS. (2007). Lucha contra las enfermedades transmitida por el agua en los hogares. http://www.who.int/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf

- Organización Mundial de la Salud. OMS. (2012). Progreso en materia de agua potable y saneamiento. http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/mdg_es.pdf
- Ramírez, H. y Jaramillo J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/1303/1359>
- Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS. (2000). *Sección II Título C: Sistemas de potabilización*. Recuperado de https://procurementnotices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- Rodríguez, C. (2008). Uso y control del proceso de coagulación en plantas de tratamiento de agua potable (Tesis de pregrado, Universidad de Sucre), Sincelejo. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000101&pid=S1909-0455201300010000300018&lng=es
- Solís, R., Laines, J. y Hernández, J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28(3), 229-236.
- Villabona, A., Paz, I. y Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/32768>