

Evaluación de *Ulex Europaeus* (FABACEAE) como Coagulante Natural para el Tratamiento del Agua¹

Javier Enrique Santana², Astrid Lili Puerta Monsalve³, Valery Tatiana González⁴

Resumen

Introducción: El *Ulex europaeus* es un arbusto leñoso perteneciente a la familia FABACEAE de las leguminosas, conocida en idioma inglés como Gorse y en Colombia con el nombre de retamo espinoso. Esta planta perenne, oportunista y de espinosa ramificación, presenta un alto potencial invasivo que se adapta muy bien a ecosistemas modificados (Beltrán y Barrera, 2014), ocasionando graves impactos ambientales y desequilibrio ecosistémico (Amaya-Villarreal y Rengifo, 2010). **Objetivo:** Evaluar el *Ulex europaeus* como alternativa de

coagulante natural para el tratamiento del agua. **Materiales y Métodos:** Metodológicamente se preparó una solución con *Ulex europaeus* al 1%, suministrada en dosificaciones de 3, 6, 9, 12 y 15 mL y 3 (tres) niveles pH 5, 7 y 9, siguiendo la técnica de coagulación-floculación mediante la prueba de test de jarras con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$). **Resultados:** Como resultado, se obtuvo que esta planta posee propiedades coagulantes y que, a diferentes dosificaciones y niveles de pH, se logran alcanzar eficiencias de remoción de turbidez del 40% (pH 3 y dosificación de solución coagulante de 6 mL). **Conclusiones:** De esta manera, se concluye que

- 1 Artículo original derivado del proyecto de investigación: Depuración de aguas residuales resultantes de procesos productivos en empresas del sector curtiembres a través de tratamientos alternativo, del Centro de Gestión Industrial, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA., ejecutado entre 01 de febrero 2020 y el 15 diciembre de 2020; Grupo de investigación NEURONA; Financiado por SENNOVA, Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del SENA. – Colombia.
- 2 Magíster en Administración de Empresas con especialidad en Gestión Integrada de la Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, Ingeniero Ambiental; Instructor Investigador. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Regional Distrito Capital. Correo: jesantana@sena.edu.co / ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7097-0510>
- 3 Magíster en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Ingeniera Ambiental de la misma Universidad, Instructora Investigadora. Centro Agropecuario de Buga. SENA. Regional Valle. Correo: apuertam@sena.edu.co / ORCID: 0000-0003-2066-3525
- 4 Tecnóloga en control ambiental, Especialista en producción y consumo sostenible, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Tecnóloga en Control Ambiental, Auxiliar de Investigación, Centro de Gestión Industrial - SENA. Correo: vtgonzalez@sena.edu.co / ORCID: 0000-0001-6648-7948

Autor para Correspondencia: jesantana@sena.edu.co
Recibido: 02/12/2020 Aceptado: 06/08/2021

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

hay una relación directa entre el pH inicial de la muestra y el volumen de dosificación de la solución coagulante los cuales inciden en las eficiencias de remoción de turbidez.

Palabras clave: Calidad del agua, contaminación del agua, tratamiento de agua.

Evaluation of *Ulex Europaeus* (FABACEAE) as Natural Coagulant for Water Treatment

Abstract

Introduction. The *Ulex Europaeus* is a woody shrub Pertaining to the family Fabáceas of the legumes, Known internationally like Gorse and in Colombia with the name of Thorny Retamo. This perennial, opportunistic and spiny branching plant has a high invasive potential that adapts very well to disturbed ecosystems (Beltrán y Barrera, 2014), causing serious environmental impacts and ecosystem imbalance (Amaya-Villarreal y Rengifo, 2010). **Objective.** The objective of the study is to evaluate *Ulex europaeus* as a natural coagulant alternative for the primary treatment of water. **Materials and methods.**

Methodologically it was prepared with *Ulex europaeus* solution the 1 % which was supplied at dosages 3, 6, 9, 12 y 15 mL and 3 (three) pH levels, following the coagulation-flocculation technique by testing jugs with confidence level 95 % ($\alpha=0.05$). **Results.** Results It was obtained that this plant possesses coagulant properties, which at different dosages and pH levels are achieved achieving a turbidity removal efficiency of 40 % (pH 3 and coagulant solution dosage 6 mL). **Conclusions.** In this way, it is concluded that there is a direct relationship between the initial pH of the sample and the dosing volume of the coagulant solution, which affect the efficiencies of turbidity removal.

Keywords: Water quality, water pollution, water treatment.

Avaliação de *Ulex Europaeus* (Fabaceae) como Coagulante Natural para Tratamento de Água

Resumo

Introdução. *Ulex europaeus* é um arbusto amadeirado pertencente à família fabaceae de leguminosas, conhecido na língua inglesa como gorse e na Colômbia com o nome de retamo espinoso. Esta perene, oportunista e de ramificação espinhosa, tem um alto potencial invasivo que se adapta muito bem

aos ecossistemas modificados (Beltran e Barrera, 2014), causando sérios impactos ambientais e desequilíbrio ecossistêmico (Amaya-Villarreal e Rengifo, 2010). **Objetivo.** O objetivo do estudo é avaliar a *Ulex europaeus* como uma alternativa natural de coagulante para o tratamento da água.. **Materiais e Métodos.** Metodologicamente foi elaborado com solução *Ulex europaeus* o 1% que foi fornecido em diferentes doses 3, 6, 9, 12 y 15 mL e 3 (três) níveis de pH, seguindo a técnica de coagulação-floculação

por medio de testes de jarros com nível de confiança de 95 % ($\alpha = 0,05$). **Resultados.** Foi obtido que esta planta possui propriedades coagulantes, que em diferentes dosagens e níveis de pH são alcançados alcançando uma eficiência de remoção de turbidez de 40 % (pH 3 e dosagem de solução coagulante 6 mL). **Conclusões.** Desta forma, conclui-se

que existe uma relação direta entre o pH inicial da amostra e o volume de dosagem da solução coagulante, o que afeta as eficiências de remoção da turbidez.

Palavras-chave: Qualidade da água, poluição da água, tratamento da água.

Introducción

La coagulación es el proceso de adición de una sustancia química denominada coagulante, la que produce la desestabilización eléctrica de las partículas que se encuentran suspendidas en el agua. Esta actividad se efectúa en unidades de tratamiento, específicamente en tanques de mezcla rápida, donde se dosifica el coagulante al agua y se somete a una agitación intensa para formar una mezcla homogénea en menor tiempo (Carrasquero *et al.*, 2017). Este proceso permite la remoción de compuestos que están suspendidos, cambiando el color del agua y disminuyendo la turbiedad orgánica e inorgánica, además de eliminar microorganismos patógenos y cualquier sustancia productora de olor y sabor (Choy *et al.*, 2016). Es por ello, que el uso de cualquier producto que realice estas funciones demanda grandes cantidades, que generalmente están sujetas a las características del agua a tratar, la concentración del coagulante, la intensidad y tiempo de mezcla. Lo que lleva a que en muchas ocasiones sea muy costoso. Por ello, la alternativa de emplear coagulantes naturales que faciliten este tratamiento.

El proceso de coagulación implica procesos químicos claves para lograr la desestabilización de las partículas coloidales, los factores a tener en cuenta son: la valencia, capacidad de cambio, tamaño de partículas, temperatura, concentración de iones H^+ o pH, la relación cantidad tiempo y la alcalinidad. (Restrepo, 2009).

De acuerdo con estudios realizados por Mendoza *et al* en el 2000, concluyen que el pH y la dosificación del compuesto coagulante, son variables determinantes que indican directamente en la eficacia en la remoción de turbidez. Es así, que a diferentes concentraciones de iones H^+ , la solubilidad de los coagulantes naturales coincide para asegurar la ruptura del campo magnético de los coloides y, así permitir la formación de flóculos. Otro factor clave es el cálculo de la dosificación de reactivo, pues en ausencia, no permite la fractura del campo magnético y la disminución del potencial Zeta, y el exceso de dosificación afecta el proceso de eliminación de sólidos coloidales. A través del test de jarras se pueden determinar dosis óptimas a utilizar en los procesos unitarios. Este análisis es vital para evitar el desperdicio de coagulantes

o evitar agregarlo en exceso, lo que puede generar un efecto no deseado, aumentando los valores de las unidades nefelométricas (NTU). Cabe resaltar que la turbidez es una las variables de mayor importancia en el Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA), que de acuerdo a la resolución 2115 de 2007, el no cumplimiento del parámetro mínimo permitido para turbidez, implica un aumento en el nivel de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.

El uso de coagulantes naturales ha sido bastante estudiado para el proceso de tratamiento del agua (Guzmán *et al.*, 2013). Sin embargo, su uso se ha limitado a fuentes naturales ricas en almidón, debido al alto contenido de resinas poliméricas que favorecen los procesos de formación de flóculos (Bonilla, 2016). Por ejemplo, estudios realizados (Solís *et al.*, 2012; Villabona *et al.*, 2013; Trujillo *et al.*, 2014; Barrios, 2016; Castiblanco *et al.*, 2016) han documentado el uso de coagulantes naturales como el almidón de yuca, maíz, plátano y papa en el tratamiento de aguas residuales y aguas naturales para potabilizar. Sin embargo, en la actualidad se han venido desarrollando otros estudios de coagulantes naturales con algunas plantas como: retamo espinoso, malanga, sábila, fique, maguey, moringa, nopal, tuna, cardón guajiro y semillas de árboles como el tamarindo, el durazno y la caña fístula (Lédo *et al.*, 2009; Gurdíán-López y Coto-Campos (2011); Lozano-Rivas, 2012; López-Vidal *et al.*, 2014; Contreras *et al.*, 2015a; Contreras *et al.*, 2015b; Guzmán *et al.*, 2015; Cuadros, 2020).

Los coagulantes naturales están siendo ampliamente utilizados para el tratamiento

de aguas naturales y aguas residuales, (Mendoza *et al.*, 2000; Restrepo, 2009; Santana *et al.*, 2017). Por ejemplo, las antiguas civilizaciones utilizaban polielectrolitos naturales para clarificar el agua. En la India usaban las semillas de agave para la clarificación de aguas turbias y en África los aldeanos añaden plantas nativas para reducir la turbiedad, olor y sabor al agua para consumo humano. Aunque se registra que los británicos fueron los primeros en utilizar polielectrolitos naturales como coadyuvantes coagulantes (Vásquez, 1994 citado por Contreras y Gutiérrez, 2015).

Estudios realizados citados por Hernández y Triviño (2016), han reportado que el retamo espinoso (*Ulex europaeus*) posee un alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, polímeros que tienen la capacidad de retener metales pesados. En algunos países como Australia, Estados Unidos y el norte de México, el *Ulex europaeus* es considerado como una maleza que puede formar matorrales impenetrables espinosos densos a lo largo de los cursos de agua. En otros, como Tanzania, en África oriental, las semillas de esta planta son utilizadas como coagulante para el tratamiento del agua turbia, donde el suministro de agua potable no está disponible (Olivero *et al.*, 2014).

Sin embargo, esta especie se caracteriza por producir hasta 20.000 semillas por año, situación que lleva a que esté presente en muchos lugares. Suele desarrollar múltiples tallos y ramificaciones, lo que tiende a invadir el terreno, (Beltrán y Barrera, 2014). Por ejemplo, en Colombia, los páramos han sido los mayormente afectados (Amaya-Villarreal y Rengifo, 2010). Además, esta

planta presenta una característica de inflamabilidad por el contenido de aceites y otros metabolitos, incrementando la probabilidad de incendios forestales en sistemas naturales, seminaturales y periurbanos (Sánchez-Tapias y Vargas, 2007). De igual manera, estos incendios estimulan la germinación y dispersión de semillas de retamo espinoso, colonizando espacios que anteriormente eran ocupados por otras coberturas vegetales como los bosques nativos (Guzmán y Rey, 2019).

El presente estudio plantea como hipótesis, que el retamo espinoso en solución coagulante al 1% puede alcanzar eficiencias de remoción aceptables para el tratamiento primario del agua (León *et al.*, 2016). Por ello, el objetivo es evaluar la eficiencia del *Ulex europaeus* a diferentes dosificaciones y niveles de pH con el fin de iniciar un proceso de estandarización que en un futuro permita proponer un método optimizado de tratamiento primario cuyas condiciones posibiliten reducir los costos y minimizar los impactos ambientales ocasionados por esta planta.

Materiales y Métodos

El desarrollo metodológico consistió, inicialmente, en el proceso de recolección de la especie invasora, cuyo ejercicio implicó la documentación a cerca de la planta en Colombia y la selección del área para la toma de la muestra de retamo espinoso teniendo en cuenta la Resolución 469 de 2009 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Para este caso se seleccionó el Humedal Juan Amarillo en la ciudad de

Bogotá D.C, que actualmente se ve afectado por el crecimiento de *Ulex europaeus*.

Posteriormente, el proceso de evaluación del Retamo Espinoso como coagulante natural se llevó a cabo en el laboratorio de análisis ambiental del Centro de Gestión Industrial CGI del SENA en tres etapas: i) Preparación de la solución coagulante y agua patrón, ii) Pruebas de floculación coagulación y iii) Caracterización fitoquímica. Por último, se desarrolló el análisis estadístico de los datos.

A continuación, se detalla cada una de las etapas anteriormente mencionadas:

Etapas I: Preparación de la solución coagulante:

Para preparar la muestra de agua estándar se sigue la metodología propuesta por los autores que conforman el equipo de investigación, en donde se utilizaron 10 g de caolín y se disolvieron en 1 L de agua tipo I, usando una plancha de agitación a 2000 rpm durante 30 minutos. Luego, la solución se dejó en reposo durante una hora para lograr una hidratación completa en un cono Imhoff. El material precipitado se separó, teniendo en cuenta la diferencia de densidades. El procedimiento se repitió para asegurar la dilución total del caolín. Posteriormente, el retamo espinoso crudo se pre-trató mediante lavado para eliminar impurezas y se dividió en secciones con una longitud máxima de 5 cm. Luego, se tomaron 50 gramos y se secaron en un horno de calentamiento marca MRC, a 50 ° C±2 durante 48 horas, seguido de la molienda del material a un tamaño de partícula de menos de 1,4 mm; luego, la clorofila se separó mediante una extracción

sólido-líquido con cuatro reflujos de etanol de grado industrial al 96% en volumen / volumen de pureza. La solución se colocó en un desecador durante 48 horas para asegurar la evaporación del contenido residual del disolvente y posteriormente se almacenó en un matraz de disparo a $6^{\circ} \text{C} \pm 1$. Finalmente, se preparó una solución al 1% en masa / volumen del coagulante natural, para ello se pesaron 5 gramos del material tratado y se añadieron 100 mL de agua destilada tipo II. La solución se colocó en una plancha de agitación a temperatura ambiente durante 30 minutos a 600 rpm. La solución mezclada se filtró a (0,5 mm) y se transfirió a un matraz de bola de 500 mL con agua destilada tipo II para obtener una concentración de 1% peso / volumen (5 g/500 mL).

Etapa II: Pruebas de Floculación y Coagulación

Una vez preparada la solución coagulante de retamo espinoso al 1% de concentración Peso/Volumen, se adiciona la muestra de agua patrón estandarizada con caolín tipo industrial para alcanzar una turbidez de 140 ± 2 NTU, siguiendo el procedimiento de coagulación-floculación de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC-3903 de 2010, se realizó la prueba de jarras a 150 rpm durante 1 minuto para mezcla rápida y 40 rpm durante 30 minutos para mezcla lenta en un volumen de muestra de 400 mL con un floculador automático Marca Velp Científica.

Por último se procedió a realizar un diseño experimental aplicando la solución coagulante al 1% a tres muestras de agua con patrón de turbidez de 140 ± 2 NTU (blanco)

utilizando dosis de 3, 6, 9, 12 y 15 mL a escalas de pH entre 5, 7 y 9; con el objetivo de identificar a qué pH o dosificación la solución coagulante presentaba mayor remoción, para realizar el proceso de validación de pH se utilizó NaOH 0,1 M y HCl 0,1 M. Cada uno de los ensayos realizados a diferentes dosificaciones o nivel de pH se realizó por triplicado para disminuir el margen de error en el procedimiento.

Etapa III. Caracterización fitoquímica

Se realizó la caracterización fitoquímica que permitió identificar en el retamo espinoso metabolitos secundarios como: flavonoides, propiedad antioxidante proveniente de los grupos hidroxilo fenólico mediante dos métodos de extracción: extracción Soxhlet y extracción convencional. Para ello, se realizó la prueba de Shinoda, donde se adiciona zinc en polvo y ácido clorhídrico a 1 mL de extracción obtenida con etanol al 96%, permitiendo indicar si contiene flavanoles, flavanonas e isoflavonas (Máximo *et al.*, 2002).

Se analizaron taninos y saponinas, compuestos fenólicos no nitrogenados y solubles en agua e insolubles en solventes orgánicos; estos metabolitos se separaron en taninos condensados e hidrolizables. Para analizar este componente, se usó acetato de plomo y 1 mL de extracto, en presencia de taninos, este reactivo genera un precipitado blanco.

Adicionalmente, se determinó la presencia de quinonas y antraquinonas, que contienen uno o más grupos hidroxilo en su cadena de carbono. Estos elementos dan a las plantas su color o propiedades

laxantes, dependiendo de la posición del grupo hidroxilo en la rama de carbono. Para realizar esta prueba, se tomó 1 mL de muestra y se añadió 1 mL de ácido clorhídrico y tres gotas de rodamina al 1 %.

Finalmente, los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente en el software de IBM SPSS Statistics 20, corriendo un análisis univariado ANOVA, cuyo diseño experimental de 2 factores (pH-Dosis) se desarrolló con un $\alpha < 0,05$; con el fin de encontrar diferencias en el porcentaje de remoción de turbidez en el agua entre las dosis de coagulante utilizadas (3, 6, 9, 12, y 15 mL) y las escalas de pH (5, 7 y 9 unidades). Las pruebas de hipótesis realizadas se desarrollaron con un nivel de confianza del 95% ($\alpha > 0,05$) cuyas diferencias significativas se considerarán a un ($\alpha < 0,05$), efectuando las pruebas postANOVA de Tuckey, Ducan y Waller-Ducan, teniendo en cuenta la distribución normal de los datos y la respectiva aleatorización de los tratamientos.

Resultados

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron de la evaluación del retamo espinoso como coagulante natural para el tratamiento del agua, se comprueba la hipótesis planteada donde el *Ulex Europaeus* tiene propiedades coagulantes que permiten la remoción de altos contenidos de turbiedad en el agua. Con soluciones de retamo espinoso al 1% se lograron eficiencias de remoción promedio entre el 34,5 % y el 40 % cuyo promedio de niveles de turbiedad fue menor a 100 NTU. Teniendo una eficiencia promedio del 37,0 %, en todos los ensayos realizados

a diferentes dosificaciones y niveles de pH. Siendo el porcentaje de eficiencia más frecuente el 34,8 % de remoción de turbiedad. Cabe resaltar que se realizaron ensayos por triplicado, para tres niveles de pH diferentes (5, 7 y 9) y cinco niveles de dosificación de retamo (3, 6, 9, 12 y 15 mL); teniendo un total de 45 ensayos realizados cuya varianza del porcentaje de remoción fue del 29,5 % y desviación estándar del 5,4 %. En la (Figura 1a) se presenta un histograma de frecuencia que permite analizar la simetría y normalidad de los datos de la eficiencia de remoción de la solución de retamo al 1 % y en la (Figura 1b) los niveles de turbiedad final que posterior al tratamiento con el coagulante natural, registraron un promedio de 88,2 NTU, partiendo que la turbiedad inicial era 140 NTU, valor de turbiedad del agua completamente estandarizado para todos los ensayos.

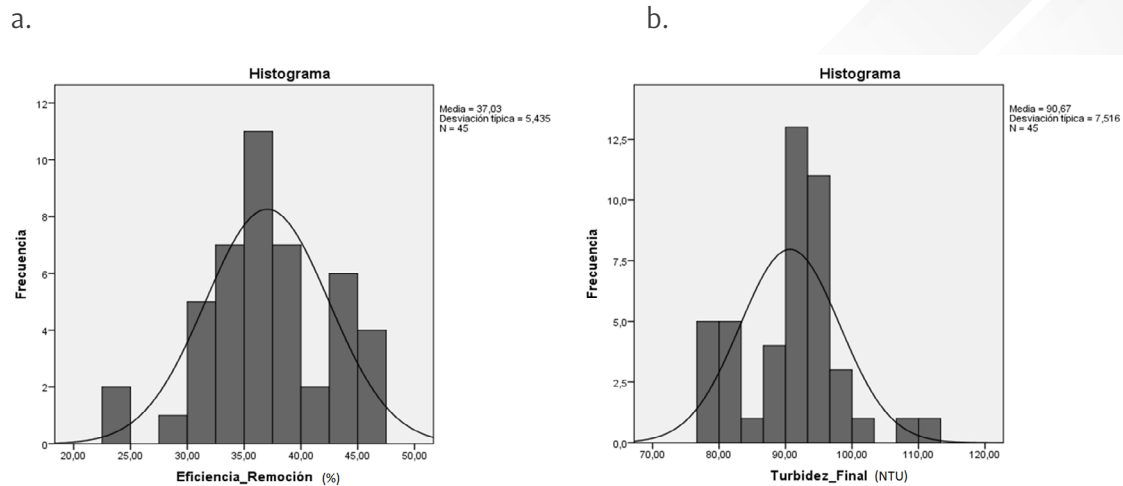


Figura 1. Histograma de frecuencias que presenta el comportamiento de las eficiencias de remoción de turbiedad obtenidas y de la medición de turbiedad final de las muestras de agua posterior al tratamiento.

Fuente: Elaborado por los autores

De acuerdo con las dosificaciones trabajadas, las mejores eficiencias de remoción de turbiedad se alcanzaron con 9 mL de solución de retamo al 1 % (Figura N° 2a). Para el caso de las dosificaciones de 3, 6, 12 y 15 mL se presentaron eficiencias de remoción de 34,5 %, 38,2 %, 35,4 % y 36,7 % respectivamente (Tabla 1).

Por otro lado, de acuerdo con los niveles de pH la escala que mejor registró porcentajes de eficiencia de remoción de turbiedad fue

la de 5 unidades con un promedio remoción de 38,3 %, seguido de la 7 (36,7 %) y por último, la de 9 unidades (35,9 %) (Figura 2b). El rango de variación no es tan amplio en las unidades de pH 5 y 9, sin embargo en la escala de pH 7 la variación es mayor y se alcanzan eficiencias superiores al promedio (37 %). Cabe resaltar que con el análisis univariado realizado existen diferencias significativas entre el pH 5 y 9, lo que indica que dicha remoción si cambia con un pH u otro.

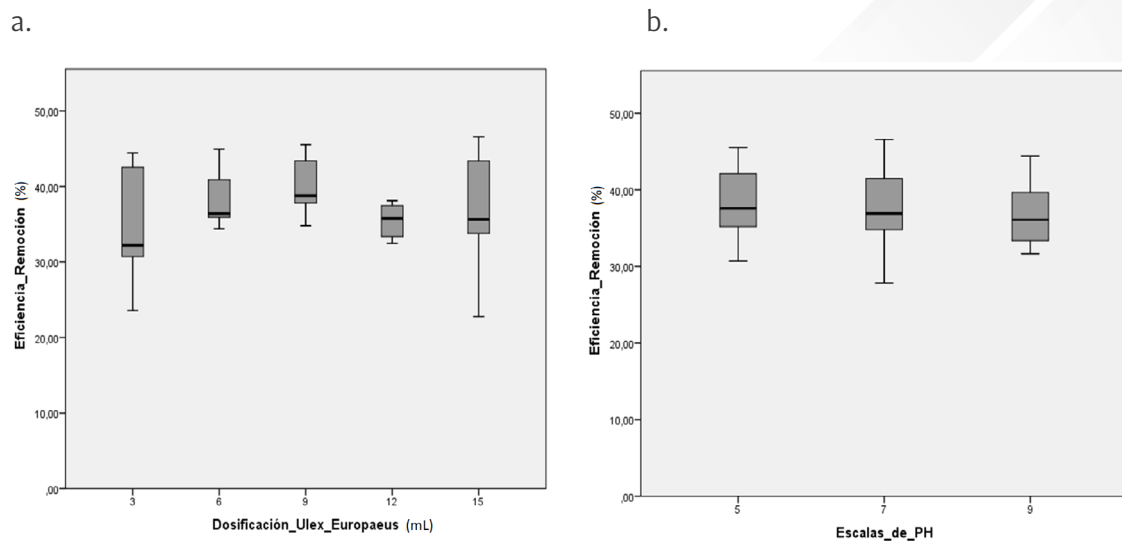


Figura 2. Eficiencias de remoción según la dosificación de solución de retamo espinoso al 1 % (izquierda) y niveles de pH (derecha).

Fuente: Elaborado por los autores

Dado lo anterior, y con el ánimo de identificar tendencias en los resultados de manera más específica y detallada, se presenta a continuación los resultados del análisis estadístico ANOVA que permitió desarrollar comparaciones múltiples, entre las dosificaciones de solución de *Ulex Europaeus* al 1 % y las escalas de pH con el fin de identificar si hay diferencias de remoción de turbiedad entre ellas.

La (Tabla 1) presenta la relación de la variable dosificación de solución de retamo espinoso al 1 %, mediante análisis univariado

obtenido, que permite identificar que existen diferencias significativas ($\sigma < 0,05$) entre las dosificaciones 6 y 9 mL con 3 y 12 mL. De hecho, las pruebas post Hoc (DHS Tukey, Tukey B, Duncan y Walter Duncan) conforman tres grupos diferentes para dosificación, separando las dosificaciones 3 y 12 mL que registraron remoción de turbiedad del 34,5–35.4 %, de las dosificaciones de 15 mL que registra una remoción de turbiedad de 36,7 % y en un tercer grupo de 6 y 9 mL que registraron mejores porcentajes de remoción de turbiedad (38.2-40 %).

Tabla 1. Matriz de comparaciones múltiples de dosificación de solución de retamo espinoso al 1 % con pruebas de hipótesis (posthoc)

Dosificación Solución Retamo al 1%	Diferencia de medias	Sigma	Post Hoc	Dosificación	Subconjuntos			
(i)	(j)	(i) y (j)	0.05 (95%)	Alfa=0.05	Retamo al 1%	1	2	3
3 mL	6	-3,6811	0,031	DHS Tukey	3	34,5878		
	9	-5,5022*	0,001		12	35,4700	35,4700	
	12	-0,8822	0,944		15	36,7500	36,7500	36,7500
	15	-2,1622	0,380		6		38,2689	38,2689
6 mL	3	3,6811	0,031	Tukey B	9			40,0900
	9	-1,8211	0,549		3	34,5878		
	12	2,7989	0,155		12	35,4700	35,4700	
	15	1,5189	0,705		15	36,7500	36,7500	
9 mL	3	5,5022	0,001	Duncan	6		38,2689	38,2689
	6	1,8211	0,549		9			40,0900
	12	4,6200	0,004		3	34,5878		
	15	3,3400	0,060		12	35,4700		
12 mL	3	0,8822	0,944	Waller-Duncan	15	36,7500	36,7500	
	6	-2,7989	0,155		6		38,2689	38,2689
	9	-4,6200	0,004		9			40,0900
	15	-1,2800	0,816		3	34,5878		
15 mL	3	2,1622	0,380		12	35,4700	35,4700	
	6	-1,5189	0,705		15	36,7500	36,7500	
	9	-3,3400	0,060		6		38,2689	38,2689
	12	1,2800	0,816		9			40,0900

Fuente: Elaborado por los autores

Igualmente los resultados obtenidos del análisis univariado para las diferentes escalas de pH (Tabla 2), se identificaron dos agrupaciones, cuyos mejores porcentajes de eficiencias de remoción de turbiedad del agua, se registraron para la escala de pH 5 (38,3 %), a diferencia del pH 9 que

registró menores porcentajes de remoción de turbiedad (35,9 %), mientras que los resultados de remoción de turbiedad a pH 7 no presenta diferencias significativas con los resultados de los pH 5 y 9 con porcentaje de remoción del 36 % (Figura 2b).

Tabla 2. Matriz de comparaciones múltiples por escala de pH con pruebas de hipótesis (post hoc)

Escalas de pH		Diferencia de medias	Sigma	Post Hoc	Escalas	Subconjuntos	
(i)	(j)	(i - j)	0.05 (95%)	Alfa=0.05	pH	1	2
5	7	1,5700	0,218	DHS Tukey	9	35,9793	
					7	36,7753	36,7753
	5	38,3453					
7	9	2,3660	0,039	Tukey B.	9	35,9793	
					7	36,7753	36,7753
	5	38,3453					
9	5	-1,5700	0,218	Duncan	9	35,9793	
					7	36,7753	36,7753
	5	38,3453					
9	9	0,7960	0,665	Waller-Duncan	9	35,9793	
					7	36,7753	36,7753
	5	38,3453					
9	5	-2,3660	0,039	Waller-Duncan	9	35,9793	
					7	36,7753	36,7753
	5	38,3453					
9	7	-0,7960	0,665	Waller-Duncan	9	35,9793	
					7	36,7753	36,7753
	5	38,3453					

Por último, en la Figura 3 se presenta la correlación entre la eficiencia de remoción y la concentración de turbiedad final, teniendo una correlación inversa ($R^2= 0.94$) en donde

se obtiene que, a mayores porcentajes de eficiencia de remoción de la solución coagulante de retamo espinoso, menor será la turbiedad presente en el agua.

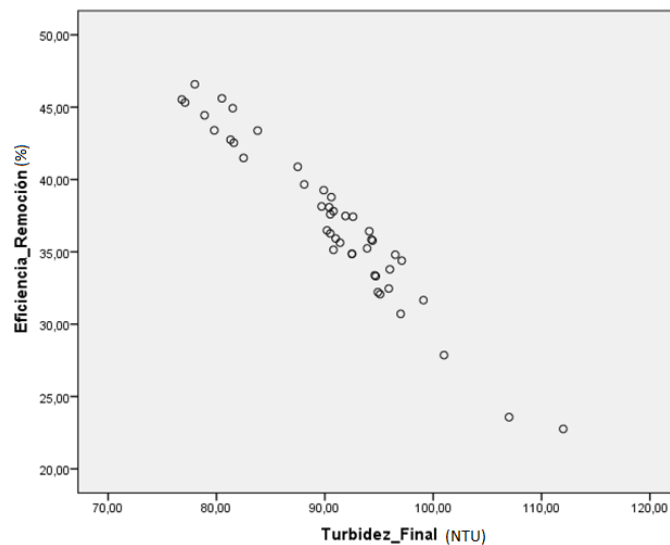


Figura 3. Correlación entre turbiedad final y eficiencia de remoción del coagulante natural.

Fuente: Elaborado por los autores

Discusión

De acuerdo con la evaluación realizada, el retamo espinoso tiene propiedades coagulantes en solución al 1 % (P/V), para el tratamiento del agua cuya turbidez esté en valores de 140 NTU, por su parte, Choque-Quispe et al., (2018) define la necesidad de aumentar la dosis de coagulante de 1 % a 3 % dado que presenta mejores resultados para la actividad floculante y % de remoción alcanzando valores de 48.580 ± 0.063 % y 99.329 ± 0.060 % respectivamente, cuando es extraído con el solvente etanol. Según los resultados, las dosificaciones de 6 y 9 mL de solución de retamo al 1 % presentaron un bajo rango de variación en el porcentaje de remoción a diferencia las dosificaciones de 3 mL y 12 mL. Si se revisa con detalle la relación de las dos variables, se obtiene que con niveles de pH 7 las remociones más altas se dieron con dosificaciones mayores (15 mL) y cuando el pH es mayor (9 Unidades), los mejores porcentajes de remoción se alcanzaron con niveles más bajos de dosificación de 3 mL, teniendo una relación inversa. Aunque, los tres niveles de pH trabajados en cada una de las pruebas presentaron porcentajes de remoción por encima del promedio (37 %) confirmado que la efectividad de los compuestos naturales sin aditivos, generan desestabilización del potencial Zeta al ser agregados a muestras con altos niveles de turbidez. Dearmas, (2015) obtuvo resultados similares al probar moringa (*Moringa oleífera*) y cardón guajiro (*Lemaireoreus griseus*) en tratamiento de aguas residuales, concluyendo que dichos compuestos permiten remover unidades de NTU superiores al 30%. Por su parte,

Guzmán et al, (2013) concluyen que el uso de los coagulantes naturales es ampliamente usado por su efectividad para la remoción de sólidos coloidales en el agua y que trae consigo otros beneficios fisicoquímicos.

Con relación al pH, el mejor porcentaje de remoción de turbiedad se presentó a escala 5, indicando que, niveles ligeramente ácidos permiten condiciones favorables para que la solución coagulante forme (iones H^+), lo que permite que estos iones disueltos en el agua se adhieran a los sólidos coloidales y a sus cargas, formando flocs y generando mayor desestabilización, lo que se traduce en una fracturación del campo eléctrico y por ende una aumento en la tasa de sedimentación de las partículas suspendidas coloidales, principales causantes de la turbiedad en el agua. Este resultado concuerda con el estudio realizado por Ortega Guerreiro et al., (2019), quien utiliza aguas mieles provenientes del lavado de la semilla de café, con un pH promedio de $4 \pm 0,00$, en el cuál al usar la pulpa de café como solución coagulante, se evidencia buen comportamiento en la remoción de sólidos coloidales, por lo que, el mejor funcionamiento se da pH ácidos, adicionalmente se resalta el aumento en el valor de la alcalinidad se debe a la concentración de los iones hidroxilos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) facilitando la coagulación de las partículas.

En síntesis, la evaluación del retamo espinoso como coagulante alcanzó porcentajes del 40 % de remoción con dosificaciones intermedias de 6 y 9 mL de solución de retamo al 1 % y a concentraciones de pH de 5 unidades (niveles de pH ligeramente bajos), reduciendo significativamente los niveles de turbiedad

en el agua sin la utilización de compuestos químicos sintéticos. En comparación con el estudio realizado por Fera et al., (2020) las remociones obtenidas para agua cruda con turbidez inicial de 150 NTU son entre el 18 % y 27 % de manera independiente de la dosis aplicada y de la solución base de los extractos. Esto indica, que el retamo tiene mejores resultados en remoción de turbidez pues alcanza eficiencias por encima del 30 % a bajas concentraciones.

La eficiencia de remoción de turbiedad en el agua varía según la dosificación de solución de retamo y la escala de pH en la que se realice el ensayo. Este estudio presentó diferencias estadísticas significativas de remoción entre cada uno de los valores empleados tanto para dosificación, como para escala de pH ($\sigma < 0.05$). Sin embargo, con soluciones de retamo del 1 % las dosificaciones de 9 mL a pH 5 estuvieron en promedio con un 44,7 % de remoción de turbiedad.

Finalmente, se recomienda desarrollar más evaluaciones de retamo espinoso, empleando otras soluciones diferentes al 1 % y más niveles de dosificación y escalas de pH, además, se recomienda incluir la medición de otras variables como color y conductividad que permitan establecer correlaciones, para mejorar el análisis del proceso de tratamiento del agua con coagulante natural, con el fin de lograr estandarizar el proceso y establecer a diferentes concentraciones de turbiedad, diferentes dosificaciones del coagulante natural y concentraciones de la solución.

Conclusiones

La eficiencia de la remoción de las partículas coloidales representada en niveles de turbidez usando como solución coagulante retamo espinoso al 1 %, está asociado a la concentración de turbiedad del agua al inicio del tratamiento, dosificación de la solución y la escala de pH inicial. En ese sentido, el estudio realizado permitió determinar que las dosificaciones de 6 mL y 9 mL presentan en promedio una mayor remoción con el 38,2 % y 40 % respectivamente, por otra parte, los datos reportados en la variación de pH indican que a pH 5 se obtiene una mayor remoción con un porcentaje del 38,3 % seguido por el pH 7 con un 36 % y pH 9 con el 35,9 %. Adicionalmente, se concluye con un 95% de confianza que, para una turbiedad inicial de 140 NTU, una solución de retamo espinoso al 1 puede lograr remociones en promedio que oscilan entre el 34,5 % al 40 %.

Cabe resaltar, que el pH ácido es un factor que incide directamente en la eficiencia de la solución coagulante, debido a que las mayores remociones se presentaron a pH 5 en una dosificación de 9 mL, lo que indica que a estos niveles se incrementa la efectividad de la solución y permite la desestabilización del campo eléctrico de los coloides presentes en la muestra analizada, favoreciendo la formación del floc y la tasa de sedimentación de las partículas coloidales. Razón por la cual, se recomienda que en futuras investigaciones se realice aumento en la concentración de la solución coagulante de retamo espinoso y se compruebe su mecanismo de acción en escalas de pH ácidas con diferentes volúmenes de dosificación.

Referencias

- Amaya-Villarreal, Á. M.; Renjifo, L. M. (2010). Efecto del retamo espinoso (*Ulex europaeus*) sobre las aves de borde en un bosque altoandino. *Ornitología Colombiana*, 10, 11-25.
- Beltrán, H. E.; Barrera-Cataño, J. I. (2014). Caracterización de invasiones de *Ulex europaeus* L. de diferentes edades como herramienta para la restauración ecológica de bosques altoandinos, Colombia. *Biota Colombiana*, 15.
- Barrios, L. R. M. (2016). Uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación. *Revista Científica Agua, Saneamiento & Ambiente*, 11(1).
- Bonilla Ocampo, A. F. (2016). Síntesis y Caracterización de Copolímeros de Glicina y Lignina Extraída de Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*).
- Carrasquero, S. J., Montiel Flores, S., Faría Perche, E. D., Parra Ferrer, P. M., Marin Leal, J. C., Díaz Montiel, A. R. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>
- Castiblanco, D. I. L., Aristizabal, S. M. P., Pillimue, M. A. R., Mosquera, N. G. (2016). Desarrollo de Agentes Coagulantes/Floculantes Naturales a partir de almidones modificados. *Informador técnico*, 80 (2 SI), 84-87.
- Choque-Quispe, D., Choque-Quispe, Y., Solano-Reynoso, A., & Ramos-Pacheco, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *Tecnología Química*, 38 (2). <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2018.2>.
- Choy, S. Y., Prasad, K. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., Ramanan, R. N. (2016). Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.082>
- Contreras Lozano, K. P., Mendoza, J., Aguas, Y., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., Mendoza Ortega, G. P. (2015a). El Nopal (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción + Limpia*, 10(1), 40-50.
- Contreras Sanabria, K. L., Gutierrez Mayta, T.M. (2015b). Remoción de plomo de las aguas del efluente minero de Yauli La Oroya utilizando el coagulante de maguey (*Agave Americana* L.) A nivel de laboratorio.
- Cuadros Pulido, L. M. (2020). Evaluación de la remoción de la turbidez del agua del Río Fucha por medio del fruto de la planta Arbustiva Cactus (*Opuntia ficus indica*) como coagulante natural.
- Feria, J., Altamiranda, J., & Soto, C. (2020). Uso de semillas de *Tamarindus indica* como coagulante natural en

- el tratamiento de agua cruda. *Revista Espacios*, 41(38), 182–192. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p17.pdf>
- Flores, J. S., Bautista, F. (2012). El conocimiento de los mayas yucatecos en el manejo del bosque tropical estacional: las plantas forrajeras. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(2), 503–518.
- Gurdián-López, R., Coto-Campos, J. M. (2011). Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. *Revista Tecnología en Marcha*, 24(2), ág-18.
- Guzman Rodriguez, J. O., Rey Morales, K. Y. (2019). Identificación y cálculo de áreas cubiertas por Retamo espinoso” *Ulex Europaeus*”, a través de espectrorradiometría de campo. Caso de estudio zona piloto páramo de Sumapaz, zona rural localidad de Usme-Bogotá y municipio de Soacha-Páramo de Sumapaz (Doctoral dissertation). Universidad de Cundinamarca
- Guzmán, L., Taron, A. A., Nuñez, A. (2015). Polvo de la semilla *Cassia fistula* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 123-129.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., García, R. (2013). Reducción De La Turbidez Del Agua Usando Coagulantes Naturales: Una Revisión. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/0123-4226>
- Hernández Rodríguez, C. B., Triviño Clavijo, L. M. (2016). Evaluación de la Capacidad de Bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) Presentes en Soluciones Sintéticas Independientes Empleando Retamo Espinoso (*Ulex Europaeus*) como Adsorbente.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2010). Procedimiento para el ensayo de coagulación-floculación en un recipiente con agua o método de jarras (NTC 3903). <https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=AD90541E52F7CAFD7C448E55D04EF2E1&Req=>
- León, O. A., Vargas, O. (2011). Estrategias para el control, manejo y restauración de áreas invadidas por retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en la vereda El Hato, Localidad de Usme, Bogotá D.C. In I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica (pp. 474–490).
- León, D., Piedrahita, S., Rivera, M., González, N. (2016). Desarrollo de agentes coagulantes/ floculantes naturales a partir de almidones modificados. *Informador Técnico*.
- Lédo, P. G., Lima, R. F., Paulo, J., Duarte, M. A. (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. doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302
- López-Vidal, R., Laines-Canepa, J. R., Hernández-Barajas, J. R., Aparicio-Trápala, M. A. (2014). Evaluación de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(3), 855-863.
- Lozano-Rivas, W. A. (2012). Uso del extracto de fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 219-227.
- Máximo, P., Lourenço, A., Feio, S. S., Roseiro, J. C. (2002). Flavonoids from *Ulex airensis* and *Ulex europaeus*. *Journal of Natural Products*, 65(2), 175-178. <https://doi.org/10.1021/np010147j>
- Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G. (2000). Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de las aguas Use of *Moringa oleifera* as coagulant in the wáter treatment. *Ciencia* 8, 8(August), 235-242.
- Olivero Verbe, R. E., Aguas Mendoza, Y. del R., Mercado Martínez, I. D., Casas Camargo, D. P., Montes Gazabón, L. E. (2014). Utilización de Tuna (*Opuntia ficus-indica*) como coagulante natural en la clarificación de aguas crudas. *Avances de la Investigación En Ingeniería*. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.302>
- Ortega Guerreo, P. A., Guillen Vasco, K. V., & Martínez Pérez, A. M. (2019). Obtención de un coagulante natural a partir de la cáscara de café (*Coffea arábica*) proveniente de la finca Arrayanes municipio de Nariño. *Boletín Informativo CEI*, 6(3), 100-105. <http://editorial.umariana.edu.co/revistas/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2131/2347>
- Resolución 469 de 2009. Por medio de la cual se prohíbe, transplante, venta, distribución y comercialización de las especies de Retamo Espinoso (*Ulex europaeus*) y Retamo Liso (*Teline monspessulana*) y se adoptan otras disposiciones. 13 de marzo de 2009. D.O. No. 47290.
- Resolución 2115 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. 22 de junio de 2007. D.O. No. 46679.
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Santana, J., Galeano, S., González, V., Cáceres, D. (2017). Descontaminación de aguas residuales industriales de serigrafía, empleando tratamientos

alternativos no convencionales. Memorias. IV Simposio Nacional de Formación con Calidad y pertinencia. Medellín, Colombia. 2 o 3 de noviembre de 2017. Online.

Sánchez-Tapia, A., Vargas, O. (2007). Efecto del sombreado artificial sobre el retamo espinoso (*Ulex europaeus* L.) en el Embalse de Chisacá. In Restauración Ecológica del bosque altoandino. Estudios diagnósticos y experimentales en los alrededores del Embalse de Chisacá (Localidad de Usme, Bogotá D.C.).

Solis Silvan, R., Laines Canepa, J. R., Hernández Barajas, J. R. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 28(3), 229–236.

Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Revista ION, 27(1), 17–34. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt

Villabona Ortiz A., Paz Astudillo, I. C., García Martínez, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. Characterization of *Opuntia ficus-indica* for using as a natural coagulant. Rev. Colomb. Biotecnol., XV (1), 137–144.