



Efecto de coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguas de ríos contaminadas

Effect of coagulants and flocculants in the removal of turbidity from polluted river waters

Luis Eduardo Oré Cierto^{1,*}; Elvis Mariano Evangelista Medina¹;
Jocep Máximo Arostegui Poma¹; Wendy Caroline Loarte Aliaga²;
Juan Daniel Oré Cierto³; Miguel Ángel Quispe Trinidad¹

¹ Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Carretera Central km 1.21, Tingo María, Huánuco, Perú

² Consultor Constructor & Auditor LEOC E.I.R.L. PPJJ. Bella Durmiente, Jr. 28 de Marzo N°273, Tingo María, Huánuco, Perú

³ Facultad de Ingeniería de Sistemas y de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ucayali Carretera Federico Basadre km 6.2, Pucallpa, Ucayali, Perú.

ORCID de los autores

L. E. Oré Cierto: <https://orcid.org/0000-0003-2836-2436>

E. M. Evangelista Medina: <https://orcid.org/0000-0002-7069-0815>

J. M. Arostegui Poma: <https://orcid.org/0000-0001-7655-9618>

W. C. Loarte Aliaga: <https://orcid.org/0000-0001-9489-046X>

J. D. Oré Cierto: <https://orcid.org/0000-0002-1788-5146>

M. Á. Quispe Trinidad: <https://orcid.org/0000-0003-0999-0269>

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguas de ríos contaminados, se utilizó tres coagulantes naturales *Moringa oleifera*, *Musa paradisiaca* (Medula de plátano de variedad seda), *Theobroma Cacao* (mucilago de Cacao de variedad Criollo) y el sulfato de aluminio (Al₂SO₄) a una sola concentración de 50 ppm y mediante un ensayo de jarras se estableció una mezcla rápida de 200 rpm durante 1 min, luego a 45 rpm durante 15 min y un tiempo de sedimentación de 15 minutos. Se obtuvo como resultado el comportamiento de los indicadores de la calidad de agua: turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO₅), conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos totales, antes y después de realizar los tratamientos, mediante la prueba de Duncan se determinó el mejor tratamiento a la *Moringa oleifera* presentando un 92,15% en promedio de remoción de turbiedad y el sulfato de aluminio un 90,70% en promedio de remoción de turbiedad, concluyendo que la *Moringa oleifera* es una alternativa para reemplazar al sulfato de aluminio por su reducida toxicidad y viabilidad ambiental.

Palabras clave: Coagulantes; floculantes; remoción; turbidez; agua potable.

ABSTRACT

The objective of the research work was to evaluate coagulants and flocculants in the removal of turbidity from polluted river waters, three natural coagulants were used: *Moringa oleifera*, *Musa paradisiaca* (silk variety banana pith), *Theobroma Cacao* (Cacao mucilage of the Criollo variety) and aluminum sulfate (Al₂SO₄) at a single concentration of 50 ppm and through a jar test, a rapid mixture of 200 rpm for 1 min was established, then at 45 rpm for 15 min and a sedimentation time of 15 min. The behavior of the water quality indicators was obtained as a result: turbidity, biological oxygen demand (BOD₅), electrical conductivity, total suspended solids and total dissolved solids, before and after carrying out the treatments, using the Duncan test, determined the best treatment for *Moringa oleifera* presenting an average turbidity removal of 92.15% and aluminum sulfate an average turbidity removal of 90.70%, concluding that *Moringa oleifera* is an alternative to replace aluminum sulfate due to its reduced toxicity and environmental viability.

Keywords: Coagulants; flocculants; removal; turbidity; drinking water.

1. Introducción

El agua potable debe presentar características de calidad como libre de turbidez, de color y de sabor perceptibles, así como otros parámetros regulados de acuerdo con las normativas de los países. Las aguas naturales raramente son de calidad satisfactoria para el consumo humano o el uso industrial y casi siempre deben ser tratadas (Gerard, 1999), en la región Huánuco, la empresa prestadora de servicio (EPS) Seda Huánuco SA-Sucursal en Leoncio Prado se limita a realizar procesos de cloración y desinfección con la finalidad de eliminar los patógenos presentes en el agua (Vásquez, 2023).

Los coagulantes naturales son una opción cada vez más popular para la clarificación del agua permitiendo su consumo, siendo esta una tecnología convencional apropiada y económica para sectores vulnerables a este problema del acceso de agua potable; en los últimos años el sulfato de aluminio ha sido usado como coagulante para la clarificación del agua, este compuesto químico apenas satisface las necesidades, con el fin de reducir su uso; los coagulantes naturales son una opción ambientalmente viable, debido a que tienen la capacidad de atraer y enlazar partículas suspendidas en el agua formando flóculos para que luego se pueden separar físicamente.

La Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), cuenta con 3 plantas de tratamiento de

agua potable (PTAP) para cada quebrada, Naranjal, Córdova y Cocheros donde la turbiedad que presentan estas quebradas es demasiado elevada (Suarez Vásquez et al., 2021) debido a las intensas precipitaciones 451,08 mm/mes (SENAMHI, 2023) en temporada de avenida que presenta la ciudad de Tingo María, como consecuencia la calidad del agua es baja; el trabajo tuvo como objetivo disminuir los niveles de turbiedad utilizando coagulantes naturales como la medula de *Musa paradisiaca* (Sierra-Julio et al., 2019; Méndez et al., 2022), *Moringa oleifera* (Meza-Leones et al., 2018; Riaños et al., 2019); *Theobroma Cacao* (Bravo & Cuenca, 2021) y el Sulfato de aluminio (Al₂SO₄).

2. Material y métodos

Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

La zona de estudio corresponde al departamento de Huánuco distrito, provincia de Leoncio Prado, distrito de Rupa Rupa, dentro del campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en el laboratorio de calidad de agua de la escuela profesional de ingeniería ambiental, el cual se encuentra al margen derecho de la carretera central Fernando Belaunde Terry en dirección del tramo Huánuco – Tingo María a una latitud de 663 m.s.n.m. (Figura 1).

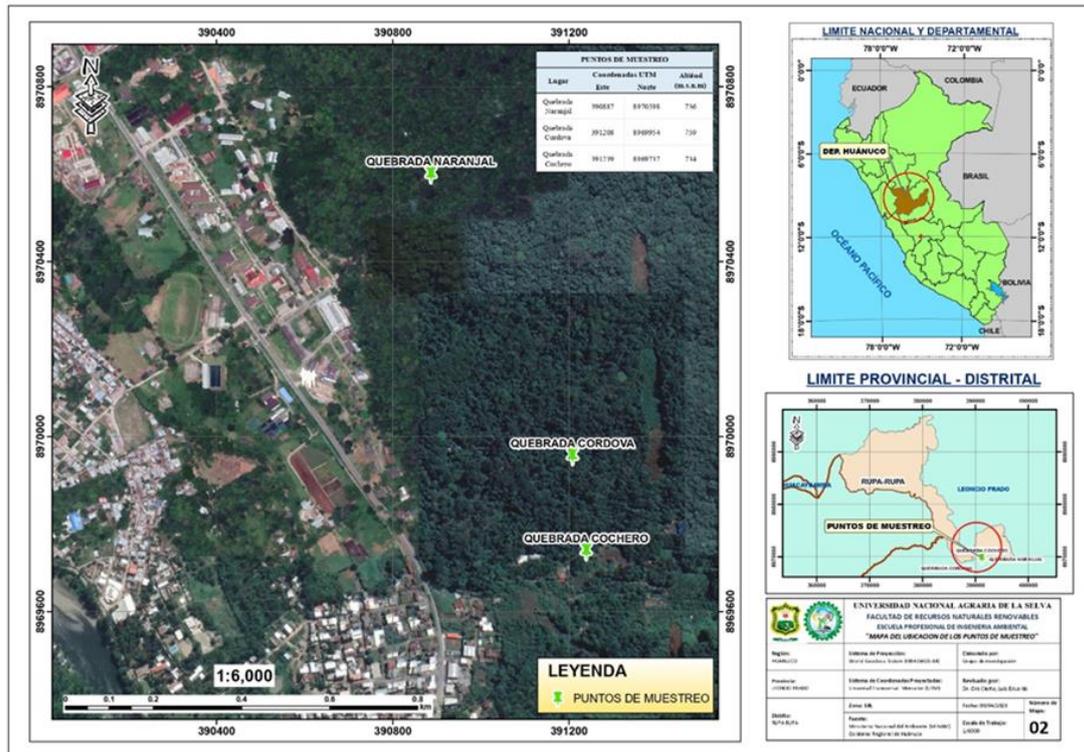


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

Materiales, equipos e insumos

Se utilizaron 6 matraces de 1000 ml de capacidad, 3 vasos precipitados de 1000 ml y 500 ml, pipetas de 10 ml de capacidad, tamizador, vasos de plástico de 1000 ml, cinta negra, 3 valdes de capacidad de 20 L. También los equipos: Agitador magnético Kyntel, test de jarras PHIPPS & BIRD, multiparámetro WTW, turbidímetro Hach, Estufa Memmert, Molienda mecánica Gilson, Termo reactor Velp científica. Además, los insumos: Agua destilada, Sulfato de aluminio (AL₂SO₄), *Moringa oleífera*, *Musa paradisiaca* (Medula de plátano de variedad seda), mucilago del *Theobroma cacao* (Cacao variedad Criollo).

Recolección de agua de objeto de estudio

Se realizó un muestreo simple del agua cruda proveniente de las quebradas Naranjal, Córdova y Cocheros en el ingreso a las inmediaciones de la planta de tratamiento de agua potable de cada quebrada, situada en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), el agua recolectada se almacenó en baldes de plástico de capacidad 20 L y se transportó al laboratorio de calidad de Agua de la UNAS, donde se conservó a temperatura ambiente (27 °C) y se midieron parámetros iniciales como la turbidez, DBO₅, Sólidos disueltos totales (TDS), Sólidos suspendidos Totales (TSS), Conductividad eléctrica y Temperatura del agua natural (mencionar el mes que se recolecto, y la precipitación de ese mes).

Preparación de los Coagulantes

Los coagulantes presentan la misma concentración de dilución (0,01 g/ml), se presentaron a una dosificación de 50 ppm cada una con 3 repeticiones, con el objetivo de determinar el coagulante más eficiente para la remoción de la turbiedad.

Moringa oleífera

Para la extracción del coagulante de la moringa oleífera se utilizó el método de Somani et al. (2011), que consiste en pelar las vainas manualmente para extraer las semillas de moringa, secar las semillas en la estufa a 115 °C durante 24 horas, triturar y moler las semillas en una molienda mecánica y tamizar el polvo; para la preparación de la solución se pesaron los 10 g de harina de moringa se adicionaron 1000 ml de agua destilada y se mezclaron durante 5 minutos, esta solución se filtró para separar las partículas de harina de moringa de la solución.

Musa paradisiaca

Para la extracción de la medula del banano se utilizó el método propuesto por Kakoi et al. (2016), que consiste en recolectar los seudotallos desechados luego del proceso de deshije, lavar y luego extraer la parte central del tronco, enjuagar con agua destilada, cortar en pequeños trozos y secar en un horno a 60 °C durante 6 h, luego triturar hasta obtener un polvo fino, por último, almacenarlo a una temperatura de 25 °C, para la solución se pesó 10 g de sustancia de medula de banano y disolver en 1000 ml de agua destilada y agitarlo por 3 min.

Theobroma cacao

Para la extracción del mucilago de cacao se hace uso del método salino adaptado del método de Prasad et al. (2009), que consiste en preparar la solución salina 0,25 molar, para ello se agregó 7,305 g de NaCl en 200 ml de agua destilada y posteriormente se agregó 300 ml de agua destilada, para la extracción del mucilago se cortó el cacao fresco para adquirir las semillas, añadió 100 g de semillas de cacao fresco en un recipiente junto con 500 ml de solución salina, mezclar por 30 min, por último, se filtró el fluido de las semillas.

Sulfato de aluminio

Para la preparación del sulfato de aluminio se realiza la metodología propuesta por Solís Silvan et al. (2012), que consiste en diluir 10 g de sulfato de aluminio en 1000 ml de agua destilada en tiempo de mezclado de 5 min, por último, se almacenó a una temperatura ambiente

Ensayo de jarras

El agua extraída de las quebradas Naranjal, Córdova y cocheros que ingresan a las plantas de tratamiento de agua potable, fueron distribuidas en 6 jarras o beakers, a cada muestra se le añadió un coagulante diferente con la misma concentración. Se usaron dos velocidades de mezclado, la mezcla rápida con 200 rpm durante 1 min, luego se disminuyó la velocidad a 45 rpm durante 15 min, se detuvo el mezclado y se dejó sedimentar durante 15 min. Por último, se midió la turbidez, DBO₅, sólidos disueltos totales (TDS), sólidos suspendidos totales (TSS), conductividad eléctrica y temperatura del agua cruda.

Diseño experimental y análisis de resultados

El diseño experimental para la investigación es de tipo DBCA, como única variable de respuesta se tiene a la turbidez final para cada uno de los

coagulantes utilizados (*Moringa oleífera*, *Musa paradisiaca*, *Theobroma cacao* y sulfato de aluminio) expresada en unidades nefelométricas de turbidez (UNT), teniendo como factor las 3 quebradas donde se extrajeron el agua (Naranjal, Córdova y Cocheros). Los resultados conseguidos en las 3 repeticiones para cada coagulante se tabularon y analizaron en el programa estadístico R-Studio. Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk presentando un comportamiento normal (p-valor: 0,02444, menor a 0,05) el cual identifica que los diferentes coagulantes naturales (*Moringa oleífera*, *Musa paradisiaca*, *Theobroma Cacao*, Sulfato de aluminio) y su remoción de turbidez siguen una distribución normal. Estadísticamente, los errores de remoción de la turbidez se ajustaron a una distribución normal. Posteriormente se efectuó la prueba de Turkey, con una confiabilidad del 95% (valor $p < 0,05$).

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran las medias de los parámetros analizados y su coeficiente de variación en las 3 quebradas. Según el Feria-Díaz et al. (2016). El comportamiento de la turbidez, conductividad eléctrica (C.E) y DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en diferentes tratamientos de coagulante en las quebradas Naranjal, Cocheros y Córdova ha sido analizado con base en los datos proporcionados.

En las quebradas se utilizaron diferentes coagulantes como alúmina, moringa, plátano y cacao. En cuanto a la conductividad eléctrica, se observa

que la coagulante moringa presenta el valor más alto de 430,33 uS/cm, seguido por el cacao con 784,00 uS/cm, plátano con 195,33 uS/cm y alúmina con 72,60 uS/cm. Según Smith & Johnson (2018), estos resultados sugieren que el coagulante cacao tiene la mayor capacidad para aumentar la conductividad eléctrica del agua, mientras que la coagulante alúmina tiene el menor efecto.

En relación con el DBO5 (cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para degradar la materia orgánica), los valores fluctúan entre 0,05 y 6,95. El coagulante de moringa muestra el valor más alto de DBO5 con 6,95 mg/L, seguido del cacao con 6,05 mg/L, plátano con 4,98 mg/L y alúmina con 0,09 mg/L. Estos resultados sugieren que el coagulante de Moringa tiene un mayor potencial para aumentar la DBO5 en comparación con los otros coagulantes. En cuanto a la turbidez del agua, se puede observar que el coagulante de moringa tiene el mayor efecto, con un valor de 30,90 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), seguido por el cacao con 92,00 UNT, plátano con 132,33 UNT y alúmina con 0,96 UNT. Así, el coagulante de moringa tiene un impacto significativo en la reducción de la turbidez del agua.

En la Figura 2 se observa que la turbidez inicial disminuye con el uso de los coagulantes naturales con dosificaciones de 50 mg/L, siendo el más efectivo la *Moringa oleífera* con 92% de remoción. Feria-Díaz et al. (2016) logra remover el 95% de turbidez con dosis entre 5 mg/L a 60 mg/L con valores de turbidez de 56, 104, 200 y 301 UNT.

Tabla 1

Estadístico descriptivo de los parámetros del agua después de aplicar los tratamientos

Quebrada	Coagulante (tratamiento)	Indicadores					
		C.E (uS/cm)	CV (%)	DBO5 (mg/L)	CV (%)	Turbidez (UNT)	CV (%)
Naranjal	Alúmina	72,60	3,76	0,09	0,96	1,81	0,10
	Moringa	430,33	27,47	6,95	0,07	30,90	0,79
	Plátano	195,33	733,56	4,98	72,00	132,33	0,06
	Cacao	784,00	20,66	6,05	6,26	92,00	62,37
Cocheros	Alúmina	75,43	0,29	0,17	1,17	21,60	0,22
	Moringa	470,00	211,63	6,33	0,88	5,86	3,44
	Plátano	202,03	4,16	2,99	0,42	22,20	0,39
	Cacao	765,00	12,55	6,25	1,10	30,67	55,07
Córdova	Alúmina	66,00	0,94	0,05	1,33	8,03	44,26
	Moringa	465,67	663,18	6,69	0,63	2,43	0,18
	Plátano	133,80	2,77	1,76	5,99	37,90	0,05
	Cacao	759,33	277,03	5,97	0,16	38,83	18,15

CV: Coeficiente de variación.

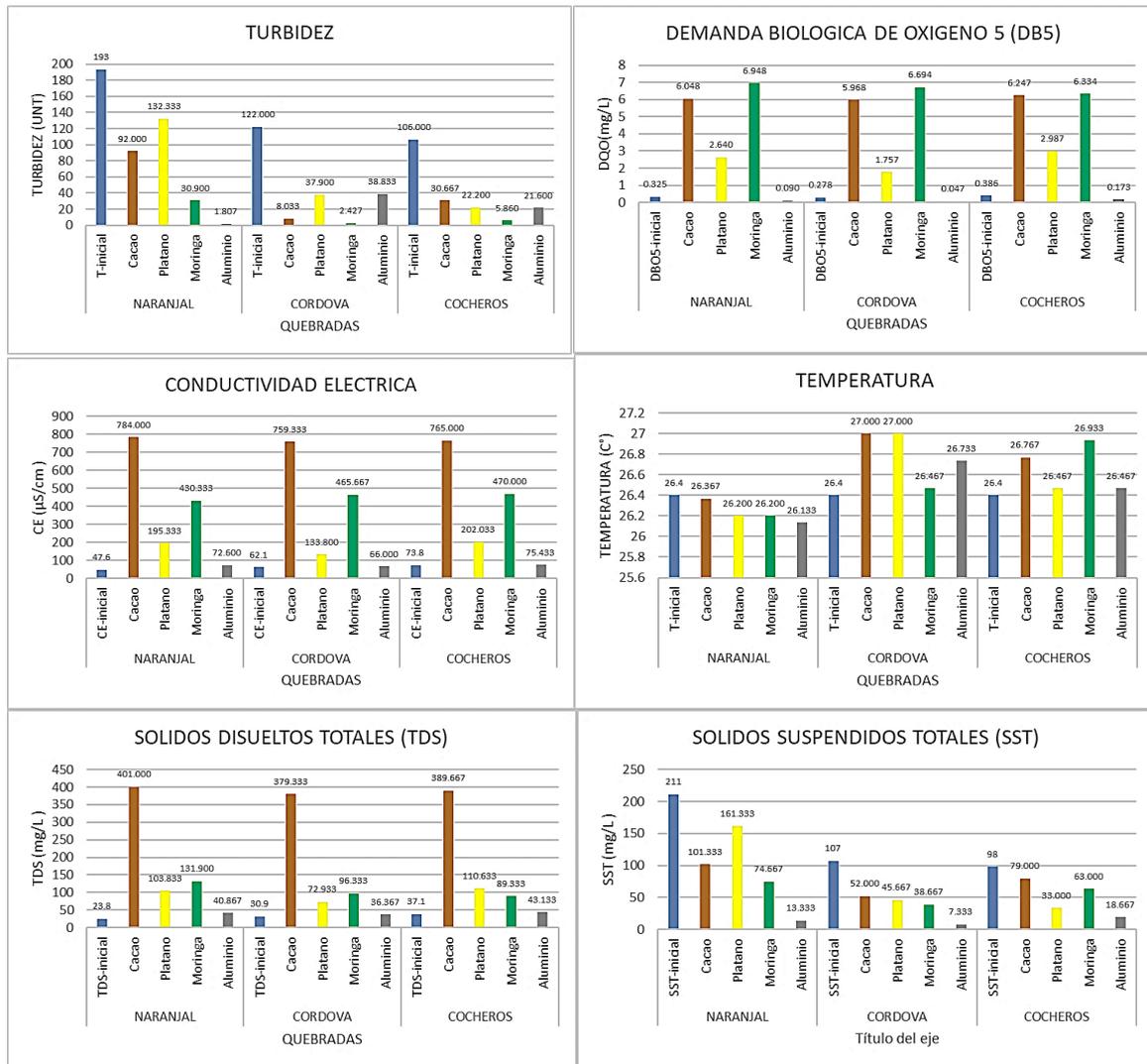


Figura 2. Comportamiento de los parámetros del agua antes y después de aplicar los tratamientos.

Se nota un aumento en el DBO5 en casi todos los coagulantes naturales a excepción del sulfato de aluminio donde hubo una disminución debido a que no hay mucha biodegradación con este coagulante natural. Choque-Quispe et al. (2020) indica que la adición de coagulante aumenta significativamente la DBO₅, debido a que está compuesta por proteínas y carbohidratos.

Para la conductividad eléctrica se observa un valor constante para cada biocoagulante. Fuentes Molina et al. (2016) indica que los coagulantes naturales no se afecta significativamente la conductividad eléctrica en el tratamiento de las aguas, gracias a los mecanismos de adsorción y la neutralización de cargas que ofrecen las biomásas de origen vegetal.

En el caso de la temperatura los valores tuvieron una ligera variación esto debido a las condiciones ambientales existentes a la hora de medir este

parámetro, lo que no influyó en la eficiencia de remoción. Pritchard et al. (2010) indican que la temperatura cálida del agua favorece el uso de coagulantes, puesto que a mayor temperatura se obtiene mayor eficiencia, en un rango de 5 °C a 60 °C.

Para los sólidos disueltos totales hubo un aumento notorio en todos los coagulantes naturales debido a que estos tenían bastante carga orgánica. Guzmán et al. (2015) indican que el aumento en la concentración de sólidos se debe al aumento de la dosis de coagulante ya que esta radica en la restauración del sistema por la disolución de los flocúlos formados.

Por último, para los sólidos suspendidos totales hubo una notable disminución con el uso de los coagulantes naturales. Banchón et al. (2016) encontraron una disminución de un 70% de los sólidos suspendidos totales.

Diseño en bloque completamente aleatorizado Análisis de Varianza para el DBCA

En la Tabla 2 podemos determinar si las variables del modelo DBCA son significativas para ello analizó comparando el F tabular con el F value; para los bloques que representan las quebradas de donde se extrajeron el agua con un F value $7,084 > F$ tabular $3,31583$, se afirma que el efecto de remoción de la turbidez en las quebradas es diferente.

Para los tratamientos que representan los diferentes coagulantes naturales con un F value $21,131 > F$ tabular $2,922277$, se afirma que el

efecto de remoción de la turbidez para cada coagulante natural es diferente.

Diferencia de Medias significativa Tukey

La prueba de Tukey fue utilizada para determinar la diferencia significativa que existe entre las medias de los niveles de un factor. En la Tabla 3 se observa la remoción de la turbidez en todos los tratamientos a 50 ppm cada una con 3 repeticiones. Para el tratamiento 1 (Sulfato de aluminio), se presenta una remoción promedio de 90,70%, obteniendo menor eficiencia en comparación a la obtenida por Meza-Leones et al. (2018) (99,8%).

Tabla 2

Análisis de varianza para el diseño en bloque completamente aleatorizado

Respuesta: Coagulantes Naturales para la remoción de turbidez					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F valúe	Pr(>F)
Bloque	2	1780.6	890.28	7.084	0.003021**
Coagulante (tratamiento)	3	7967.0	2655.68	21.131	0.0000001497***
R	30	3770.2	125.67		

Tabla 3

Prueba Tuckey para la eficiencia de remoción de la turbidez para cada coagulante natural

Prueba de Tukey para la remoción turbidez					
Error cuadrático medio Coagulantes	125,6746				
	Eficiencia de remoción				
	Promedio	Desviación	Repetición	Mínimo	Máximo
Sulfato de aluminio	90,70	8,71	9	79,43	99,09
Moringa oleífera	92,15	6,32	9	83,78	98,07
Musa paradisíaca	59,80	22,10	9	22,80	79,43
Theobroma cacao	63,85	9,45	9	49,33	75,47
Alfa	0,05	DF Error	30		
Valor Crítico del Rango de estudio	3,845401				
Comparación entre medias de cada tratamiento					
	Diferencia	p valor	significancia	LCL	UCL
Sulfato de Aluminio - Moringa oleífera	-1,455556	0,9925		-15,825	12,914
Sulfato de Aluminio - Musa paradisíaca	30,894444	0,0000	***	16,524	45,264
Sulfato de Aluminio - Theobroma cacao	26,843333	0,0001	***	12,473	41,212
Moringa oleífera - Musa paradisíaca	32,350000	0,0000	***	17,980	46,719
Moringa oleífera- Theobroma cacao	28,298889	0,0000	***	13,929	42,668
Musa paradisíaca- Theobroma cacao	- 4,051111	0,8688		-18,420	10,318
Medias Agrupadas según su diferencia significativa					
Coagulantes Naturales	Promedio	Grupos			
Moringa oleífera	92,15667	a			
Sulfato de Aluminio	90,70111	a			
Theobroma Cacao	63,85770	b			
Musa paradisíaca	59,80667	b			

La diferencia se basa en el valor de la turbiedad inicial, en el caso de Meza-Leones et al. (2018) tuvo un valor de 276 UNT siendo mayor al valor de las quebradas evaluadas en la presente investigación 106 UNT (Cochero), 122 UNT (Córdova), 106 UNT (Naranjal), para el tratamiento 2 (*Moringa oleifera*), presenta una remoción de turbidez promedio de 92,15% siendo el coagulante natural de mayor eficiencia según los antecedentes Cabrera et al. (2018) donde se logra alcanzar una remoción de turbidez del 99,18% y 99,29% a una turbiedad de 920 NTU de una muestra de agua industrial, la diferencia de la eficiencia se basa en la mezcla de coagulante entre *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* y por la procedencia del agua y su alto nivel de turbidez a comparación de las quebradas de estudio con 106 NTU (Cochero), 122 NTU (Córdova), 106 NTU (Naranjal), o según Riaños et al. (2019) donde se logra alcanzar una remoción de turbidez del 93,0% y 93,4% a una turbiedad de 238 y 320 NTU para muestras de agua de humedales, mediante una mezcla de coagulantes entre semillas *Manihot esculenta* y *Moringa oleiferae*, las eficiencias son muy similares al estudio, para el tratamiento 3 (*Musa paradisiaca*), se presenta una remoción promedio de 63,85% siendo menor la eficiencia de remoción de turbiedad en contraste con Méndez et al. (2022) que obtuvo una remoción del 84,1%. La diferencia radica en el valor de turbiedad inicial en ambas investigaciones. Méndez et al. (2022) tuvo un valor de 250 UNT y las quebradas evaluadas tuvieron valores de 106 UNT (Cochero), 122 UNT (Córdova), 106 UNT (Naranjal), para el tratamiento 4 (*Theobroma cacao*), se presenta una remoción promedio de 59,80% y según Bravo & Cuenca (2021) contribuye a disminuir la carga contaminante y sólidos totales en un 83,04% en mezcla de otros coagulantes naturales. En la presente investigación se utilizó el mucílago sin ninguna mezcla, presentando una gran variación en la eficiencia de remoción.

4. Conclusiones

Se evaluó los coagulantes y floculantes naturales de *Moringa oleifera*, Sulfato de aluminio, *Theobroma Cacao* y *Musa paradisiaca* para la remoción de turbidez en las plantas de tratamiento de agua potable proveniente de las quebradas Naranjal, Córdova y Cocheros; el coagulante natural más efectivo según la prueba de Duncan es la *Moringa oleifera* con una remoción de turbiedad promedio del 92,1556% y el segundo

coagulante más efectivo es el Sulfato de Aluminio con una remoción de turbiedad promedio del 90,7011%, ambos a una concentración de dilución de 0,01 g/ml y a una turbiedad inicial de 193 NTU (Naranjal), 106 NTU (Cochero) y 122 NTU (Córdova). Las semillas de *Moringa oleifera*, por su reducida toxicidad y la viabilidad ambiental en su uso, son una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.

Agradecimientos

A los jefes del laboratorio de Calidad de Agua y al director de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por prestar los materiales y equipos del laboratorio para la realización del trabajo de investigación.

Referencias bibliográficas

- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., & Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111-126. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.118>
- Bravo, A., & Cuenca, N. (2021). Aplicación de mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) en el tratamiento de aguas residuales de la producción de almidón de yuca (*Manihot esculenta*). *Anales de la Sociedad Rumana de Biología Celular*, 25(7), 1220-1235.
- Cabrera, N., Simancas, E. & Hernández, A. (2018). Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleifera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Prospectiva*, 16(2) 94-99.
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Ramos-Pacheco, Betsy, S., Solano-Reynoso, Aydeé M., Choque-Quispe, Yudith, Peralta-Guevara, Diego, E., & Quispe-Quispe, Y. (2020). Optimización de la capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas. *DINA*, 87(212), 90-95. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n212.80467>
- Feria-Díaz, J. J., Rodiño-Arguello, J. P., & Gutiérrez-Ribon, G. E. (2016). Behavior of turbidity, pH, alkalinity and color in Sinú River raw water treated by natural coagulants. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, 78, 119-128. H.
- Fuentes Molina, N., Molina Rodríguez, E. J., & Ariza, C. P. (2016). Coagulantes naturales en sistemas de flujo continuo, como sustituto del Al₂(SO₄)₃ para clarificación de aguas. *Producción + Limpia*, 11(2), 41-54. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a4>
- Gerard, K. (1999). Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Vol. II. España. McGraw-Hill. 1331p.
- Kakoi, B., Kaluli, J. W., Ndiba, P., & Thiong'o, G. (2016). Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. *Ecol. Eng.*, 95, 699-705. doi: 10.1016/j.ecoleng.
- Méndez, N., Rodríguez, Y., & Rodríguez, D. (2022). Análisis del plátano y banano (*Musa paradisiaca* L.) como coagulante para el tratamiento de afluentes. *Información tecnológica*, 33(6) 125-134.
- Meza-Leones, M., Riaños-Donado, K., Mercado-Martínez, I., Olivero-Verbel, R., & Jurado-Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de *Moringa oleifera* en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95-104.
- Prasad, K., Yang, B., Zhao, M., Wei, X., Jiang, Y., & Chen, F. (2009). High pressure extraction of corilagin from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit pericarp. *Separation and Purification Technology*, 70, 41-45.
- Pritchard, M., Craven T., Mkwandire, T., Edmondson, A. S., & O'Neill, J. G. (2010). A study of the parameters affecting the

- effectiveness of *Moringa oleifera* in drinking water purification. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, 791-797.
- Riaños, K., Meza-Leones, M. C., & Mercado Martínez, I. D. (2019). Clarificación del agua de un humedal usando una mezcla de coagulantes naturales. *DYNA*, 86(209), 73-78.
- SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2023). Promedio de temperatura normal para Tingo María.
- Sierra-Julio, A., Navarro-Silva, A., Mercado-Martínez, I., Flórez-Vergara, A., & Jurado-Eraso, M. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131-138.
- Smith, J. D., & Johnson, R. M. (2018). Tratamiento de turbidez en sistemas de agua potable. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 12(3), 45-62.
- 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.
- Somani, S., Ingole, N., & Patil, S. (2011) Performance Evaluation of Natural Herbs for Antibacterial Activity in Water Purification. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(9), 7170-7174.
- Suarez Vásquez, J. A., Ore Cierito, L. E., Loarte Aliaga, W. C., & Oré Cierito, J. D. (2021). Calidad de agua y nivel de satisfacción en la comunidad universitaria de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2019. *Llamkasun*, 2(1), 2-20.
- Vásquez, A. (2023). Índice de la calidad del agua potable y la satisfacción de los clientes de la EPS Seda Huánuco S.A. en la localidad de Tingo María. Tesis para optar el grado de Magister, Repositorio UNAS en línea.
- Guzmán, C. L., Taron, A. A., & Nuñez, M. (2015). Polvo de la semilla cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Rev. Bio. Agro.*, 13(2), 123-129.

