ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.824

Efficacy of the organic coagulants *Moringa oleifera* and *Myrciaria dubia* in the removal of *Escherichia coli* from wastewater

Linda S. Carnero Vallejos[1]; Paul S. Ramos Pineda[2] and Anita Arrascue Lino[3]
[1,2,3] *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú*
u201920195@upc.edu.pe[1], u202022076@upc.edu.pe[2], anita.arrascue@upc.pe[3]

Abstract – Wastewater treatment is essential to protect public health and water resources, particularly in urban areas where pollution and lack of sanitation services increase the risk of diseases such as cholera and hepatitis. This study evaluated the efficacy of the organic coagulants Moringa oleifera and Myrciaria dubia in the removal of E. coli from wastewater discharged at San Pedro Beach, Lurín, Lima. Untreated wastewater samples were collected, and doses of 1 g/L, 1.5 g/L, and 2 g/L of Moringa oleifera, as well as 0.0007 g/L, 0.0008 g/L, and 0.0009 g/L of Myrciaria dubia, were applied. The results showed a relative elimination of 97 to 100% of E. coli with a dose of 2 g/L of Moringa oleifera and 99.81 to 99.89% with 0.0009 g/L of Myrciaria dubia. These results highlight the importance of identifying and developing sustainable and effective alternatives for wastewater treatment in coastal areas, mitigating risks to the health of the population and the preservation of marine ecosystems.

Keywords – organic coagulants, Moringa oleifera, Myrciaria dubia, wastewater treatment.

Eficacia de los coagulantes orgánicos *Moringa oleifera* y *Myrciaria dubia* en la remoción de *Escherichia coli* en aguas residuales

Linda S. Carnero Vallejos[1]; Paul S. Ramos Pineda[2] and Anita Arrascue Lino[3]
[1,2,3] *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú*
u201920195@upc.edu.pe[1], u202022076@upc.edu.pe[2], anita.arrascue@upc.pe[3]

Resumen– ***El tratamiento de aguas residuales es esencial para proteger la salud pública y los recursos hídricos, especialmente en áreas urbanas donde la contaminación y la falta de servicios de saneamiento incrementan el riesgo de enfermedades como el cólera y la hepatitis. Este estudio evaluó la eficacia de los coagulantes orgánicos Moringa oleífera y Myrciaria dubia en la remoción de E. coli en aguas residuales vertidas en la playa San Pedro, Lurín, Lima. Se recolectaron muestras de agua residual sin tratamiento y se aplicaron diferentes dosis: 1 g/L, 1.5 g/L y 2 g/L de Moringa oleífera, así como 0.0007 g/L, 0.0008 g/L y 0.0009 g/L de Myrciaria dubia. Los resultados mostraron una remoción relativa entre el 97 y el 100% de E. coli con una dosis de 2 g/L de Moringa oleifera y del 99.81 al 99.89% con 0.0009 g/L de Myrciaria dubia. Estos hallazgos resaltan la importancia de identificar y desarrollar alternativas sostenibles y efectivas para el tratamiento de aguas residuales en zonas costeras mitigando los riesgos para la salud de la población y la preservación de los ecosistemas marinos.***

Palabras claves– ***coagulantes orgánicos, Moringa oleifera, Myrciaria dubia, tratamiento de aguas residuales.***

I. Introducción

La contaminación por aguas residuales representa una grave amenaza para la salud pública y los ecosistemas acuáticos. A nivel mundial, se calcula que aproximadamente el 80% de las aguas residuales se descargan sin tratamiento previo [1], generando impactos adversos significativos. Este problema está vinculado a la ocurrencia de más de 120 millones de casos anuales de enfermedades gastrointestinales y 50 millones de enfermedades respiratorias, afectando principalmente a las comunidades que interactúan con cuerpos de agua contaminados para su consumo, recreación o sustento [2]. Además, las descargas de aguas residuales no tratadas deterioran los ecosistemas acuáticos, provocando eutrofización, pérdida de biodiversidad y degradación de los recursos pesqueros, lo que impacta negativamente en la economía de comunidades costeras y pesqueras [3], [4] y [5].

En Ecuador, se detectó la presencia de *E. coli* en encurtidos de pescado *Opisthonema spp*. (pinchagua), lo que representa un riesgo tanto para la actividad pesquera como para la salud pública en las comunidades de Crucita, Machalilla, Salango y Anconcito. Estas comunidades dependen en un 70% del recurso marino, por lo que este problema amenaza directamente la sostenibilidad de su actividad pesquera y su economía local [3]. A inicios de 2023, Brasil, enfrentó un brote de enfermedades gastrointestinales que afectó principalmente a las playas de Canasvieiras e ingleses en Santa Catarina. Durante las primeras dos semanas del año, se registraron 1,618 casos de diarrea aguda, lo que evidenció un problema de salud pública de gran magnitud en la región [4].

En España, un análisis de 132 muestras fecales de *Larus michahellis* reveló que 72 de ellas contenían *E. coli*. De manera similar, en 2022, un estudio realizado en las costas de Australia encontró que una de cada dos gaviotas era portadora de *E. coli*, lo que representa un riesgo para la fauna aviar debido a la posible transmisión entre aves, especialmente en colonias de reproducción y en áreas contaminadas por vertidos de aguas residuales [5].

En el Perú, Lima se destaca como la región más afectada por la contaminación de aguas residuales. Entre 2015 y 2021, registró el mayor volumen de descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento, alcanzando un máximo de 15,612,938 m³ [6]. Actualmente, la ciudad de Lima genera aproximadamente 1,202,286 m³ diarios de aguas residuales domésticas, de los cuales sólo el 21.2% recibe tratamiento. Este déficit está directamente vinculado a la limitada cobertura del servicio de alcantarillado, que afecta al 10.14% de la población de la ciudad. Como consecuencia un volumen considerable de aguas residuales es vertido sin tratamiento en cuerpos de agua, generando un impacto en la salud pública y los ecosistemas [7].

Para hacer frente a esta problemática, el Gobierno del Perú ha implementado la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos[1], diseñada para fortalecer la fiscalización y vigilancia de los vertimientos de aguas residuales, con un enfoque prioritario en aquellos de origen doméstico [8]. Además, el país cuenta con el Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026[2], cuyo objetivo es optimizar y ampliar la infraestructura de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en zonas críticas. Estas estrategias buscan mitigar los riesgos sanitarios y ambientales asociados a la descarga de aguas residuales [9].

Un caso específico de contaminación por aguas residuales en Perú es el de la playa San Pedro, ubicada en el distrito de Lurín, donde se han identificado tres puntos de vertimiento caracterizados por una coloración negra y olores nauseabundos

[1] Autoridad Nacional del Agua, "Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos", Gobierno del Perú. Disponible en: https://bit.ly/3WoW92x

[2] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, "Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026", Gobierno del Perú, 2022. Disponible en: https://bit.ly/3CcW5vR

[10]. Estos vertimientos presentan concentraciones alarmantes de *E. coli* y Demanda Química de Oxígeno (DQO), superando los límites máximos permisibles (LMP)[3] establecidos por la normativa ambiental [11]. Según el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL), esta zona carece de redes de agua potable y alcantarillado, lo que agrava la problemática, afectando tanto a la salud pública como a los ecosistemas locales [12].

El tratamiento de aguas residuales domésticas mediante tecnologías convencionales, como radiación ultravioleta, cloración y ozonización, aunque altamente efectivos, resulta económicamente inaccesible para muchas comunidades con recursos limitados [13]. En este contexto, los coagulantes naturales, como *Moringa oleifera* (moringa) y *Myrciaria dubia* (camu camu), emergen como una alternativa sostenible y viable. *Moringa oleifera* ha demostrado eficiencias de remoción de contaminantes de hasta el 99.99% gracias a las propiedades coagulantes de sus proteínas [14], mientras que los extractos fenólicos de *Myrciaria dubia* poseen propiedades antimicrobianas contra bacterias como *E. coli* y *Salmonella* [15]. Además, su origen natural no solo minimiza la generación de lodos tóxicos, sino que también reduce el impacto ambiental en comparación con los coagulantes químicos tradicionales [16].

Este estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de los coagulantes naturales *Moringa oleifera* y *Myrciaria dubia* en la remoción de *E. coli* de aguas residuales vertidas en la playa San Pedro, Lurin. La investigación busca contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras, sostenibles y accesibles orientadas a las necesidades de comunidades vulnerables. Asimismo, busca fomentar el cumplimiento de las normativas ambientales y la protección de los recursos hídricos costeros, promoviendo un enfoque integral que combine la sostenibilidad y la salud pública.

II. Área de estudio y metodología

A. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en uno de los puntos de vertimiento que desembocan en la playa San Pedro, ubicada en las coordenadas 293761m E y 8641980m N (véase Fig. 1). El efluente, con un caudal de 20 L/s fluye a través de un acueducto rectangular de dimensiones de 1.5 m de ancho, 1.8m de alto y aproximadamente 100 m de longitud (véase Fig. 2) [10]. Se presume que este vertimiento proviene de una fuente de agua residual mixta (doméstica e industrial), dado que presenta tanto la presencia de *E. coli* como componentes típicos de efluentes industriales.

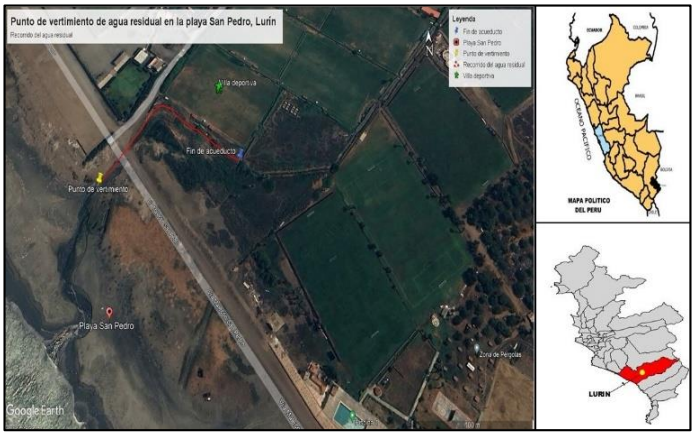

Fig. 1 Ruta del vertimiento de agua residual

Fig. 2 Efluente de agua residual en la playa San Pedro

B. Metodología

B.1. Procedimiento de muestreo

Se recolectaron 37 litros de agua residual del efluente en estudio, siguiendo el *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*[4]. Las muestras fueron almacenadas en envases de plástico estériles, previamente rotulados para su correcta identificación.

El traslado se realizó en un contenedor refrigerado para garantizar la preservación de las muestras, empleando cadenas de custodia para asegurar su trazabilidad. Finalmente, las muestras se transportaron al Laboratorio de Aguas y Energías Renovables de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, sede Villa, donde se llevaron para su posterior procesamiento.

B.2. Preparación del coagulante

Para la preparación del coagulante de *Moringa oleifera*, se adquirieron 100 g de semilla, a las cuales se les retiró la cáscara. Posteriormente, las almendras obtenidas fueron secadas en una estufa a 105°C durante 7 horas, hasta alcanzar un estado óptimo para su procesamiento. Las almendras secas se trituraron en una licuadora hasta obtener una harina fina [17], la cual fue tamizada utilizando un tamiz de 0.18 mm para

[3] Los Límites Máximos Permisibles (LMP) son medidas de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros que, al excederse, pueden causar daños a la salud, el bienestar humano y el ambiente. Disponible en: https://bit.ly/3PF123N

[4] Autoridad Nacional del Agua, "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", Gobierno del Perú, 2016. Disponible en: https://bit.ly/3SlQpUH

garantizar la uniformidad de las partículas. Finalmente, el coagulante se preparó disolviendo 10 mL de cloruro de sodio por cada 0.10 g de polvo de semilla, obteniendo así la solución coagulante [18].

Para la preparación del coagulante de *Myrciaria dubia* se utilizaron 500 g de frutos, de los cuales se extrajeron las cáscaras. Estas cáscaras fueron secadas bajo luz solar a temperaturas entre 25 a 30°C durante 48 horas. Posteriormente, las cáscaras secas fueron molidas en una moledor, obteniendo un polvo fino [19], que fue tamizado con un tamiz de 0.18 mm para garantizar la uniformidad de las partículas [17]. Finalmente, se preparó el coagulante disolviendo 10 mL de cloruro de sodio por cada 0.10 g de polvo de las cáscaras obteniendo así la solución coagulante [18].

B.3. Prueba de Jarras

El ensayo se realizó utilizando un equipo de prueba de jarras, conformado por seis vasos precipitados, cada uno con 1 litro de agua residual sin tratar. Para el coagulante de *Moringa oleifera*, se evaluaron tres concentraciones: 1 g/L, 1.5 g/L y 2 g/L, aplicadas en duplicado. El procedimiento consistió en una agitación inicial de 100 rpm durante 1 minuto, seguida de una agitación lenta de 25 rpm durante 20 minutos. Posteriormente, las muestras fueron dejadas en reposo durante 30 minutos para favorecer la sedimentación [14]. Este procedimiento se repitió dos veces más, obteniendo un total de seis repeticiones por cada concentración evaluada (véase Fig. 3).

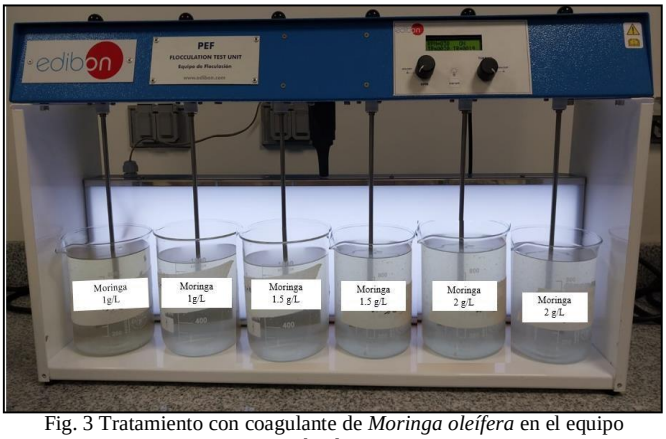

Fig. 3 Tratamiento con coagulante de *Moringa oleífera* en el equipo Prueba de jarras

Para el coagulante de *Myrciaria dubia*, se evaluaron tres concentraciones: 0.0007 g/L, 0.0008 g/L y 0.0009 g/L, aplicadas en duplicado [15]. Las muestras siguieron el mismo protocolo de agitación y reposo utilizado en el ensayo con *Moringa oleífera:* una agitación inicial de 100 rpm durante 1 minuto, seguida de una agitación lenta de 25 rpm durante 20 minutos, y un reposo final de 30 minutos para permitir la sedimentación. Este procedimiento se repitió dos veces más, obteniendo un total de seis repeticiones por cada concentración evaluada (véase Fig. 4).

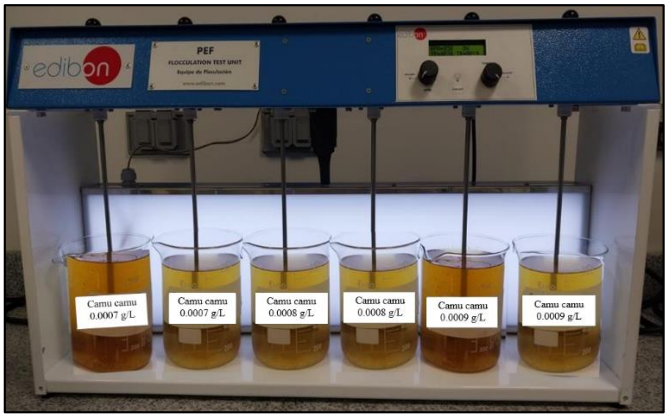

Fig. 4 Tratamiento con coagulante de *Myrciaria dubia* en el equipo Prueba de jarras

Con el objetivo de garantizar la representatividad estadística de los resultados obtenidos en las pruebas de jarras, se determinó el número de réplicas por tratamiento (n) utilizando una fórmula para el cálculo del tamaño de muestra basada en el análisis de varianza (ANOVA) [20].

$$n = \frac{2\left(t_{\frac{\alpha}{2},N-k}\right)^2\sigma^2}{{d_T}^2} \quad (1)$$

Donde:
k: n° de tratamientos
n_o: propuesta inicial para el número de réplicas
N: k* n_o
σ: Desviación estándar
α: Nivel de significancia
d_T: Diferencia máxima entre las medias

Como resultado de su aplicación, se obtuvo un total de seis repeticiones por tratamiento.

B.4. Análisis microbiológico

Las muestras de agua residual sin tratamiento y aquellas tratadas con coagulantes orgánicos fueron transportadas al laboratorio CERPER para la determinación de la concentración de *Escherichia coli.* El análisis se realizó mediante el método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 24th Ed. (2023), basado en la Técnica de Fermentación en Tubos Múltiples, utilizada para la detección de coliformes fecales y otros miembros del grupo coliforme.

B.5. Porcentaje de remoción de E.coli

Después de obtener los resultados de laboratorio sobre la concentración de *E.coli* en las muestras de agua residual, se calculó el porcentaje de remoción de la bacteria para cada dosis aplicada y tipo de coagulante [21]. El cálculo se llevó a cabo utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

Donde:
C_i: Concentración inicial de *E.coli* antes del tratamiento
C_f: Concentración final de *E.coli* después del tratamiento.

III. Procesamiento de Datos

El análisis de los datos se realizó utilizando el software Minitab 21.4. Primero, se verificaron los supuestos estadísticos requeridos para aplicar el análisis de varianza (ANOVA), que incluyeron: la normalidad de los datos (para garantizar una distribución adecuada), la homocedasticidad (para asegurar que las varianzas entre los grupos fueran iguales) y la independencia de errores (para confirmar la independencia de las observaciones). Una vez comprobado el cumplimiento de estos supuestos, se aplicó el ANOVA para identificar si existían diferencias significativas entre las medias de los tratamientos (véase Fig. 5 y Fig. 6).

En la figura 5 se aprecia que el valor p es 0, lo que indica que, con un nivel de significancia del 5%, la evidencia muestral es suficiente para concluir que las dosis del coagulante de *Moringa oleifera* (moringa) tienen un efecto en la reducción de *E. coli.* De manera similar, en la figura 6, el valor p es 0, lo que sugiere que, al emplear un nivel de significancia del 5%, la evidencia muestral respalda la conclusión de que las dosis del coagulante de *Myrciaria dubia* (camu camu) tienen también un efecto significativo en la reducción de *E. coli.*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Dosis (g/L)	2	335.50	167.750	92.98	0.000
Error	15	27.06	1.804		
Total	17	362.56			

Fig. 5 Anova de un factor con coagulante de *Moringa oleífera*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Dosis (g/L)	2	0.32374	0.161872	217.77	0.000
Error	15	0.01115	0.000743		
Total	17	0.33489			

Fig. 6 Anova de un factor con coagulante de *Myrciaria dubia*

Finalmente, se aplicó el método de comparaciones múltiples de Tukey para identificar qué tratamientos presentaban diferencias significativas entre sus medias (véase Fig. 7 y Fig. 8). En la figura 7, se observa que ninguno de los intervalos de confianza incluye el valor cero, lo que confirma la existencia de diferencias significativas entre las dosis del coagulante de *Moringa oleifera* (1 g/L, 1.5 g/L y 2 g/L) en la remoción de *E. coli*.

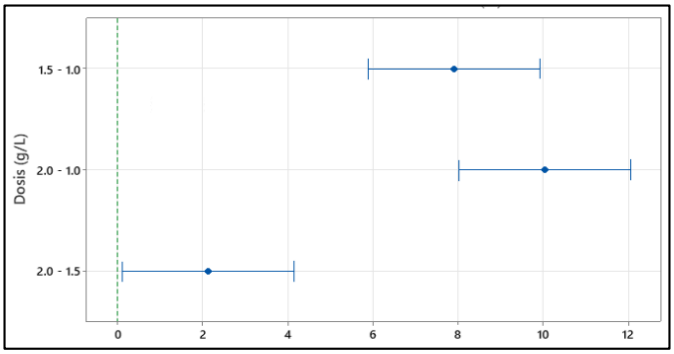

Fig. 7 Método de Tukey con coagulante de *Moringa oleífera*

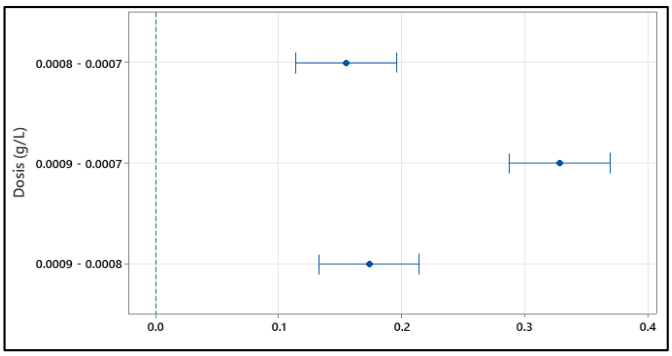

Fig. 8 Método de Tukey con coagulante de *Myrciaria dubia*

En la figura 8, se observa que los intervalos de confianza obtenidos para las comparaciones entre las dosis de coagulante de *Myrciaria dubia* (camu camu) (0.0007 g/L, 0.0008 g/L y 0.0009 g/L) no incluyen el valor cero. Esto evidencia diferencias estadísticas significativas entre las dosis evaluadas en cuanto a su efectividad en la remoción de *E. coli*.

IV. Resultados

Las muestras de agua residual presentaron una concentración inicial de *E. coli* de 110 000 000 NMP, superando ampliamente el límite máximo permisible (LMP) de 10 000 NMP. Después del tratamiento con coagulante de *Moringa oleifera*, se registró una reducción relativa en la concentración de *E. coli* que osciló entre el 87% y el 100% (véase Tabla 1).

En la Tabla I se observa que al aplicar una dosis de 1g/L de coagulante de *Moringa oleífera* en un litro de agua residual, la reducción de *E. coli* varía entre un 87% y un 90%. Al aumentar la dosis a 1.5g/L la eficacia del tratamiento mejora, alcanzando entre un 95% y un 99%. Finalmente, con una dosis de 2 g/L se logra la máxima eficiencia en la remoción bacteriana, con una disminución que oscila entre el 97% y el 100%. Estos resultados evidencian una relación positiva entre la dosis de coagulante y su efectividad en la eliminación de bacterias.

TABLA I
REMOCION DE *E.COLI* APLICANDO COAGULANTE DE *MORINGA OLEIFERA*

Tratamiento (g/L)	Concentración inicial (NMP/100 mL)	Concentración final (NMP/100 mL)	Porcentaje de remoción (%)
1	110000000	14300001	87
		12540001	88.6
		12100001	89
		12430001	88.7
		11880001	89.2
		11011001	89.99
1.5		5401000	95.09
		4147000	96.23
		3498000	96.82
		4620000	95.8
		4400000	96.00
		4400	99.996
2		2398000	97.82
		3300000	97
		1595000	98.55
		385000	99.65
		352000	99.68
		2200	99.998

Por otro lado, el coagulante de *Myrciaria dubia* alcanzó una remoción relativa del 99.50% al 99.89%. En la Tabla II, se puede observar que al aplicar una dosis de 0.0007 g/L del coagulante *Myrciaria dubia* en un litro de agua residual, la reducción de *E. coli* varía entre 99.50% y 99.55%. Al incrementar la dosis a 0.0008 g/L, la eficacia del tratamiento mejora, alcanzando reducciones entre 99.64% y 99.71%. Finalmente, con una dosis de 0.0009 g/L se logra la máxima reducción bacteriana, con disminuciones que oscilan entre el 99.81% y el 99.89%. Estos resultados evidencian el alto potencial antimicrobiano del coagulante de *Myrciaria dubia* (camu camu) incluso a bajas concentraciones.

TABLA II
REMOCION DE *E.COLI* APLICANDO COAGULANTE DE *MYRCIARIA DUBIA*

Tratamiento (g/L)	Concentración inicial (NMP/100 mL)	Concentración final (NMP/100 mL)	Porcentaje de remoción (%)
0.0007	110000000	550000	99.50
		495000	99.55
		550000	99.50
		539000	99.51
		550000	99.50
		495000	99.55
0.0008		374000	99.66
		352000	99.68
		330000	99.70
		385000	99.65
		319000	99.71
		396000	99.64
0.0009		209000	99.81
		165000	99.85
		154000	99.86
		165000	99.85
		121000	99.89
		198000	99.82

Los resultados de la investigación evidenciaron que la concentración de *E.coli* en las aguas residuales que desembocan en la playa San Pedro supera el límite máximo permisible de 10,000 NMP/100 ml, incluso después del tratamiento con coagulantes orgánicos. No obstante, esto no invalida la utilidad de estos coagulantes, ya que pueden integrarse como una etapa adicional en el tratamiento primario de una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), como la PTAR San Pedro, ubicada cerca del punto de vertimiento en estudio. Su incorporación podría contribuir significativamente a la reducción de la carga bacteriana antes de las etapas secundarias y finales del proceso, mejorando así la eficiencia global del tratamiento.

Actualmente, la planta de tratamiento cuenta con un sistema de tratamiento primario inoperativo, lo que resalta la necesidad de implementar soluciones alternativas. La incorporación de un tanque de coagulación - floculación [22], que emplee coagulantes orgánicos, podría ser una solución efectiva para optimizar el tratamiento de las aguas residuales. Este tanque permitiría la remoción de sólidos suspendidos [23], además de reducir la concentración de *E. coli*, contribuyendo a que el agua que ingresa a la etapa de desinfección tenga una menor carga bacteriana. Como consecuencia se reduciría la cantidad de hipoclorito de sodio requerida, lo que favorecería un tratamiento más eficiente y sostenible.

Actualmente, el hipoclorito de sodio es el insumo utilizado en la etapa de desinfección de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la eliminación de bacterias patógenas presentes en el agua residual [22]. En promedio, se dosifican 50 litros de hipoclorito de sodio al 10% por día [24], lo que representa un costo diario de 75 dólares [25]. La incorporación de coagulantes orgánicos, como los derivados de residuos de cáscara de *Myrciaria dubia* o las semillas de *Moringa oleífera*, podría reducir significativamente estos costos debido a su bajo precio en el mercado. Además de los beneficios económicos, el uso de coagulantes orgánicos fomentaría prácticas más sostenibles y ambientalmente responsables, al aprovechar subproductos naturales y reducir la dependencia de insumos químicos en el tratamiento de aguas residuales. Esto refuerza su potencial como una alternativa viable para optimizar los procesos en plantas de tratamiento, como la PTAR San Pedro.

V. DISCUSIÓN

En el presente estudio, el coagulante derivado de *Moringa oleifera* logró una reducción relativa de hasta el 100 % en la concentración de *Escherichia coli* en muestras de agua residual, empleando una dosis de 2 g/L. La aplicación de esta dosis permitió alcanzar concentraciones finales entre 2 200 y 3 300 000 NMP/100 mL. Es importante señalar que este porcentaje de reducción refleja la eficacia relativa del tratamiento, comparando las concentraciones inicial y final, y no implica la eliminación total del patógeno. Este resultado superó los obtenidos por la referencia [14], donde se reportó una remoción del 99 %, diferencia que podría atribuirse al método de extracción del coagulante. Mientras que en la referencia [14] se empleó agua destilada como solvente, de

acuerdo con la referencia [18], en el presente trabajo se utilizó una solución salina de cloruro de sodio (NaCl) al 1 %, lo cual favoreció la extracción de la proteína catiónica dimérica MOC-SC-PC, responsable de la actividad coagulante. Esta técnica mejoró significativamente la actividad coagulante del extracto y generó una notable mejora visual en el agua tratada, evidenciada en la reducción de su coloración. La disminución de la coloración del agua residual podría estar asociada con una mayor eficacia en la eliminación de *E. coli* [26]. No obstante, en el presente estudio no se evaluó si la extracción en solución salina afecta las propiedades que caracterizan al coagulante como un compuesto orgánico. Asimismo, al tratarse de un estudio experimental de laboratorio, no se realizó un análisis de viabilidad económica en comparación con métodos convencionales de tratamiento.

En cuanto al coagulante de *Myrciaria dubia*, se observó una reducción relativa de hasta un 99 % en la concentración de *E. coli* al aplicar una dosis de 0.0009 g/L en las muestras de agua residual, alcanzando concentraciones finales entre 154 000 y 209 000 NMP/100 mL. Sin embargo, la referencia [15] reportó una reducción del 100 % utilizando la misma dosis. Esta diferencia podría atribuirse a las materias primas empleadas en cada metodología. En el presente estudio se utilizaron cáscaras de *Myrciaria dubia*, que presentan una concentración bactericida mínima ≥ 20 [27], mientras que en la referencia [15] se empleó el fruto completo, lo que permitió obtener un coagulante enriquecido con extractos etanólicos de mayor concentración, aumentando su potencial antimicrobiano.

Asimismo, los resultados obtenidos muestran que las dosis aplicadas del coagulante de *Myrciaria dubia* lograron una reducción considerable de *E. coli*, incluso con una dosis tan baja como 0.0009 g/L, en comparación con las dosis significativamente más altas empleadas por otros investigadores. Por ejemplo, la referencia [28] utilizó 0.05 g/L de coagulante de *Moringa oleifera* para alcanzar una eliminación del 89.7 ± 2.4 %, mientras que la referencia [29] aplicó 0.6 g/L para lograr una remoción del 99.74 ± 0.04 %.

Aunque la diferencia en las dosis aplicadas es un factor clave en la variabilidad de los resultados, es fundamental considerar otras variables, como las condiciones experimentales, el tipo de agua tratada y la cepa de *E. coli* utilizada en los ensayos. Además, en este estudio no se evaluaron posibles variaciones en los parámetros fisicoquímicos del agua tratada, como la conductividad y la alcalinidad, los cuales podrían haber influido en la eficiencia de remoción observada.

Desde una perspectiva ambiental, el uso del coagulante de *Myrciaria dubia* presenta ventajas significativas, al emplear las cáscaras del fruto como materia prima. Este enfoque no solo contribuye a la reducción de residuos orgánicos, sino que también promueve un uso eficiente de los recursos naturales, evitando la explotación innecesaria de insumos. De este modo, se alinea con los principios de sostenibilidad y economía circular, fomentando prácticas ambientalmente responsables en el tratamiento de aguas residuales.

VI. Conclusiones y recomendaciones

El tratamiento con el coagulante de *Moringa oleifera* logró una reducción relativa en la concentración de *E. coli* que varió entre el 97% y el 100%, siendo la dosis de 2 g/L la más efectiva. De igual modo, el coagulante de *Myrciaria dubia* alcanzó reducciones relativas del 99.81% al 99.90%, con una dosis óptima de 0.0009 g/L.

Aunque se obtuvieron reducciones significativas, la concentración final de *E. coli* en las aguas residuales que desembocan en la playa San Pedro continúa superando el límite máximo permisible (LMP) de 10,000 NMP/100 ml. No obstante, los resultados evidencian el potencial antimicrobiano de estos coagulantes orgánicos, posicionándolos como alternativas viables para su incorporación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). En dichas plantas, estos coagulantes podrían emplearse en la etapa primaria, en los tanques de coagulación y floculación, contribuyendo así a una reducción temprana de la carga bacteriana antes de la desinfección terciaria.

Esta reducción permitiría disminuir la dosis de cloro necesaria, optimizando los costos operativos mediante el menor uso de productos químicos desinfectantes y promoviendo prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente.

Es recomendable realizar estudios adicionales que evalúen la efectividad a largo plazo de estos coagulantes bajo diferentes condiciones ambientales y tipos de aguas residuales, así como su viabilidad económica frente a tratamientos convencionales. Además, se sugiere investigar el posible impacto de la solución salina utilizada sobre la composición química de los coagulantes y su comportamiento en el proceso de tratamiento, a fin de garantizar su clasificación como coagulante orgánico y optimizar su aplicación.

Referencias

[1] The World Bank. (2020, 19 de marzo). Wastewater A Resource that Can Pay Dividends for People, the Environment, and Economies, Says World Bank [Online]. Disponible: https://www.worldbank.org/en/news/press-releas e/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for- people-the-environment-and-eco nomies-says-world-bank

[2] European Union. (2015). Connecting science, policy and people: conference report and Rome Declaration: 7-9 October 2014, Rome, Italy [Online]. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/292840a4-73fa-11e5-86db-01aa75ed71a1

[3] S. Chilca, & V. Salazar, "Estudio microbiológico de *Escherichia coli* y *Staphylococcus* aureus en encurtidos de pinchagua (*Opisthonema spp*.) comercializados en la ciudad de Crucita", BCh Thesis, Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2021.

[4] Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (2023). Alerta por un brote de diarrea en las playas en Florianópolis [Online]. Disponible: https://ima.sc.gov.br/index.php/o-instituto/o-que-e

[5] A. Vergara, C. Pitart, T. Montalvo, I. Roca, S. Sabaté, J. Hurtado, R. Planell, F. Marco, B. Ramírez, V. Peracho, M. De Simón, & J. Vila, "Prevalence of extended-spectrum-β-lactamase- and/or carbapenemase-producing Escherichia coli isolated from yellow-legged gulls from Barcelona, Spain", Antimicrobial Agents and Chemotherapy, vol. 61, no. 2, 2017.

[6] D. Carhuavilca, & A. Sanchez. Perú: anuario de estadísticas ambientales 2022. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022.

[7] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales [Online]. Disponible: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/3171.pdf

[8] Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2009). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Perú [Online]. Disponible: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/default_images/politica_y_estrategia_nacional_de_recursos_hidricos_ana.pdf
[9] Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2021). Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026 [Online]. Disponible: https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2586305-plan-nacional-de-saneamiento-2022-2026
[10] C. Guerra, "Supervisión especial en atención a denuncia ambiental, relacionada a la presunta afectación de la Playa San Pedro como consecuencia de vertimientos y disposición inadecuada de residuos sólidos de la construcción y demolición", Autoridad Nacional de Agua, Lima, IT, 014-002, 2023.
[11] Ministerio del Ambiente. (2010). Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, para el sector vivienda [Online]. Disponible: https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas
[12] M. Rea, "Solicitud de acceso a la información pública sobre el Punto de vertimiento en la Playa San Pedro", Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, Lima, Memo, 1515, 2023
[13] Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2009). Tratamiento y reúso de aguas residuales [Online]. Disponible: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/153.pdf
[14] R. A. Kwabena Ntibrey, F. A. Kuranchie, and S. F. Gyasi, "Antimicrobial and coagulation potential of Moringa oleifera seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana," Heliyon, vol. 6, no. 8, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04627.
[15] O. Ospina and H. Ramírez, "Tratamiento Casero Alternativo De Agua Para Consumo Humano Por Medio De Fitoquimicos," Revista De La Escuela Colombiana De Ingeniería, vol. 1, no. 84, 2011.
[16] C. Yin, "Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment", Process Biochemistry, vol. 45, no. 9, 2010.
[17] Y. Jung, Y. Jung, M. Kwon, H. Kye, Y. W. Abrha, and J. W. Kang, "Evaluation of Moringa oleifera seed extract by extraction time: Effect on coagulation efficiency and extract characteristic," J Water Health, vol. 16, no. 6, 2018, doi: 10.2166/wh.2018.078.
[18] P. N. Hernández Jiménez, "Análisis del efecto coagulante de la semilla moringa oleífera para el tratamiento de aguas residuales en el hotel Ítaca", Boletín Semillas Ambientales, vol. 13, no. 2, 2019.
[19] Y. Campo, M. Delgado, Y. Roa, G. Mora, & J. Ortiz, "Preliminary Evaluation of the Effect of Chitosan and Orange Peel in the Coagulation-Flocculation of Wastewater", Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient, vol. 2, no. 1, 2018.
[20] H. Gutiérrez & R. De la Vara. Análisis y diseño de experimentos. 2ª ed. México: McGraw-Hill, 2008.
[21] S. Chuchon, & C. Aybar, "Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "La Totora", Ayacucho, Perú", Rev. Ecología Aplicada, vol. 7, no. 1-2, 2008.
[22] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (SUNASS). (2023). PTAR San Pedro de Lurín [Online]. Disponible: https://aplicaciones.sunass.gob.pe/adm-ptar/ptar/listado-avanzado
[23] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (SUNASS). (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento [Online]. Disponible: https://www.gob.pe/institucion/sunass/informes-publicaciones/3087490-diagnosticos-de-las-ptar-en-el-ambito-de-las-empresas-prestadoras
[24] G. Ponce, "Implementación de una PTAR para optimizar el sistema de regadío de parques en el distrito del Rímac", Bch Thesis, Universidad de San Martin de Porres, Lima, 2019.
[25] Avalco. (2024). Hipoclorito de Sodio Al 10% balde de 20 litros. [Online]. Disponible: https://www.avalco.cl/inicio/789-aval-clor-bd-20-kg.html
[26] L. Marcó, R. Azario, C. Metzler, and M. Garcia, "Turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Revista de Higiene y Sanidad Ambiental,4, 72- 82.
[27] N. Conceição et al., "By-products of camu-camu [Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh] as promising sources of bioactive high added-value food ingredients: Functionalization of yogurts," Molecules, vol. 25, no. 1, 2020, doi: 10.3390/molecules25010070.
[28] A. Landázuri-Rojas, J. Villarreal, E. Núñez, M. Pico, A. Lagos, & M. Caviedes, "Experimental evaluation of crushed Moringa oleifera Lam. seeds and powder waste during coagulation-flocculation processes", Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 6, no. 4, 2018.
[29] P. Vega, C. Palanca, M. De Oliveira, Y. Ito, & A. Reis, "Use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant in domestic wastewater tertiary treatment: Physicochemical, cytotoxicity and bacterial load evaluation", Journal of Water Process Engineering, vol. 40, 2021.