

Effect of pH, time and dose of *Moringa oleifera* on the removal of nitrates in waters of the Chillón River – Lima

Miranda-Jara, Angélica Mg.¹, Junco-Palomino, Fiorella, Ing.¹, and Hinostroza-Tejeda, Junior, Ing.¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú, angelica.miranda@upn.edu.pe, fjuncopalomino@gmail.com, jhinostrozaatejeda@gmail.com

Abstract— *The nitrate removal performance with a biosorbent based on Moringa oleifera Lam seeds was evaluated in the surface waters of the lower basin of the Chillón River - Puente Piedra District Lima, Peru in 2023. Initially, the water sample was characterized, obtaining the initial physicochemical parameters such as pH (6.5), nitrates (36.8 mg / L) and turbidity (23.7 NTU). A 2³ factorial design was used, with 2 levels (high and low) and 3 variables pH (5 and 8), time (20 and 40 min) and moringa dose (1 and 2 g / 100 mL), being a total of 8 treatments with 2 repetitions. It was found that pH, time and dose significantly influence the nitrate removal performance by applying Moringa oleifera Lam seeds as a bioadsorbent. A percentage of 73.32% was achieved with a pH of 8, a time of 20 minutes and a dose of 1 g/100 mL. Moringa seed is recommended as a sustainable, low-cost and eco-friendly alternative to absorbent chemical products.*

Keywords— Nitrate, water, biosorbents, seeds, and reusability

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Efecto de pH, tiempo y dosis de *Moringa oleífera* en la remoción de nitratos en aguas del río Chillón – Lima

Miranda-Jara, Angélica Mg.¹, Junco-Palomino, Fiorella, Ing.¹, and Hinostroza-Tejeda, Junior, Ing.¹

¹ Universidad Privada del Norte, Perú, angelica.miranda@upn.edu.pe, fjuncopalomino@gmail.com, jhinostrozatejeda@gmail.com

Resumen– Se evaluó el desempeño de remoción de nitratos con un bioadsorbente a base de semillas de *Moringa oleífera* Lam en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Chillón – Distrito de Puente Piedra Lima, Perú en el año 2023. Inicialmente se caracterizó la muestra de agua, obteniendo los parámetros físicoquímicos iniciales como pH (6,5), nitratos (36,8 mg/L) y turbidez (23,7 NTU). Se utilizó un diseño factorial 23, con 2 niveles (alto y bajo) y 3 variables pH (5 y 8), tiempo (20 y 40 min) y dosis de moringa (1 y 2 g/100 mL), siendo un total de 8 tratamientos con 2 repeticiones. Se encontró que el pH, el tiempo y la dosis influyen significativamente en el desempeño de remoción de nitratos al aplicar semillas de *Moringa oleífera* Lam como bioadsorbente. Se logró un porcentaje de 73,32% con un pH de 8, un tiempo de 20 minutos y una dosis de 1 g/100 mL. La semilla de moringa se recomienda como una alternativa sustentable, de bajo costo y ecológica a los productos químicos absorbentes.

Palabras clave– Nitrato, agua, biosorbentes, semillas y reutilización

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una exposición a un peligro latente sobre la extinción del agua biodisponible a nivel mundial, esta preocupación nace de la degradación medioambiental que ocasiona impacto en la población. Según la ONU más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vienen de ríos y mares sin ningún tratamiento previo, lo que va desencadenando un sinfín de acumulaciones de compuestos dañinos para la salud humana [1]. Estas concentraciones nocivas son sustancias provenientes de distintos usos prevaleciendo el industrial (metales pesados, sustancias radioactivas, ácidos, domésticos (aceites, grasas, detergentes) y comercial (químicos, pesticidas y fertilizantes).

Las fuentes de agua (ríos, mar, lagos, acuíferos) con alta concentración de contaminación son deficientes en auto depurar el agua, a causa de alto índice de contaminantes. Por tal motivo, estas aguas han perdido su capacidad de albergar vida acuática, a través del tiempo, afectando las condiciones naturales provocando alteración del equilibrio ecológico ya que está en peligro la preservación de los cuerpos de agua [2]. En torno a ello, los cuerpos de aguas son uno de los elementos ambientales

que mayor consecuencia padecen ante actividades de índole industrial y productivas sin control, originando acumulación de sustancias ajenas al medio que producen un desequilibrio en la vida de los seres vivos, perjudicando a personas, animales y plantas [3].

En el Perú el recurso hídrico es un elemento fundamental para la vida humana, debido a sus formas vitales para el desarrollo de los seres vegetales, animales y los humanos, lo confirman científicos y expertos en la materia que sin agua no existiría vida en el planeta, asegurando el 75% de contenido es de agua en nuestro planeta tierra. En la ciudad de Lima este recurso hídrico se ve amenazado por la creciente contaminación, convirtiéndose en un problema con gran índice de peligrosidad, puesto que gran parte de esta contaminación contiene metales pesados, sobre todo el alto contenido de nitrato, siendo el nitrógeno elemento vital para las formas de vida del planeta, cuando reacciona con el oxígeno y como resultado da una variedad de compuestos orgánicos [4].

Por otro lado, en el ciclo de nitrógeno, el nitrógeno orgánico se comporta diferente de acuerdo con la variación del pH, pues a pH ácido el nitrógeno permanece disuelto en agua, a diferencia de un pH alcalino se logra transformar en gas amonio, y se volatiliza a la atmósfera, al oxidar el nitrógeno amoniacal cambia a nitrito por un proceso de nitrificación tratado por un grupo de bacterias llamadas nitrosomonas al oxidar el nitrito obtiene nitrato que es la forma más oxidada del nitrógeno, el cual es considerado menos tóxico lo que permite descargarse y acumularse en las fuentes de agua sin alterar los ecosistemas [4].

La presencia de nitrato en el agua interfiere en los procesos fotosintéticos y termina afectando la supervivencia de las especies en el agua. Si este exceso se hace permanente puede desencadenarse el fenómeno de eutrofización [5]. Este no es único fenómeno asociado a los nitratos, pues este compuesto también provoca la acidificación de ríos y la proliferación de algas tóxicas.

Las afectaciones del nitrato en la salud se deben a los altos niveles de nitrato por encima de 10 mg/L representando riesgo, sobre todo en los bebés desarrollando el síndrome de “bebe azul” conocido como metahemoglobina donde el nitrato interfiere con la capacidad de la sangre para transportar el oxígeno necesario en todo el cuerpo, los síntomas pueden ser dificultad para respirar, coloración azulada en la piel, manos, boca y pies. Si la acción es grave suele provocar convulsiones, coma, llegando a muerte [6,7].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

Además, trae efectos a la salud en madres gestantes, niños y adultos, ocasionando acides estomacal a largo plazo riesgo de padecer cáncer al estómago, el envenenamiento por nitrato, estos problemas atendidos a tiempo pueden controlarse siendo detectado a tiempo [6]. De esta manera se necesita un cambio en el agua potable con niveles de nitrato inferiores a 10 mg/L, el nitrato se puede eliminar tratando el agua con diferentes métodos. Existe una amplia gama de métodos y procesos, para la descontaminación de las aguas superficiales, Para la remoción de nitratos presente en el agua se han desarrollado diversas metodologías tales como: intercambio iónico [8], reducción electroquímica [9], ósmosis inversa [10], desnitrificación química utilizando hierro metálico [11], electrodiálisis [12], desnitrificación biológica [13] y adsorción [14]. Estos métodos pueden resultar muy costosos y requieren un cuidadoso mantenimiento. Sin embargo, las muestras de agua se pueden probar en busca de bacterias y nitratos en laboratorios privados, buscando encontrar niveles de nitratos mediante pruebas de bacteriológica estándar. Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) indican que los sistemas públicos de agua no deben tener nitratos por encima de 10mg/L, exigiendo las pruebas de nitrato a la entidades privadas e industriales usando como guía el método estándar de 10 mg/L [15].

Una alternativa a ellos se encuentra uso de semillas de moringa a diferencia de coagulantes tradicionales este es un material de fácil acceso y bajo costo. Para la remoción de nitrato en aguas residuales está sujeta a tratamientos biológicos o mediados por microorganismos absorbentes, actúa como nutriente esencial en algunos microorganismos, es decir se puede remover de forma eficiente a través de procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación.

El distrito de Puente Piedra no escapa de esta realidad, donde el impacto ambiental especialmente ocasionado por contaminación de agua y residuos sólidos, son uno de los principales problemas que aquejan a la población, donde muchos cuerpos de aguas se ven afectados por diferentes agentes contaminantes [16]. Uno de estos escenarios, se manifiesta en cuerpos de agua como el río Chillón.

El río Chillón ha sufrido un incremento en la contaminación de sus aguas, a lo largo de toda la cuenca y esto está relacionado a una serie de factores entre los que se destacan: la intensidad de los flujos de circulación, la profundidad, configuración geográfica del área, procesos biológicos y actividades humanas e industriales, produciéndose la contaminación del recurso hídrico en forma agresiva sobre todo en la cuenca baja del río. Asimismo, indica que esto se debe principalmente a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, residuos sólidos, actividades agropecuarias, criaderos de porcinos, fundiciones informales, papeleras, curtiembres, entre otros. Esta serie de factores está relacionada directamente con las actividades ejercidas por el ser humano y su entorno [17].

Por su parte, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), realizó estudios de laboratorio de las aguas

del Río Chillón, hallando en sus resultados presencia de compuestos polimetálicos (zinc con otros metales), arsénico cadmio, plomo, cobre, zinc y nitrato, afectando los suelos y sedimentos del afluyente hídrico [18]. El Río Chillón sufre los estragos de la polución, existiendo una relación significativa entre la contaminación del Río y el grado de responsabilidad civil de la población, a causa de los residuos sólidos y las aguas residuales producidas por estos.

Partiendo de los supuestos anteriores, asociados a los cuerpos de agua, se han desarrollado diversas investigaciones en busca de alternativas ecológicas que ayuden a minimizar y corregir los efectos de los diversos agentes contaminantes, utilizando especies vegetales cuyas propiedades incidan en la reducción de estos agentes sean de índole biológicos, químicos y físicos perjudiciales para el medio, en las que se puede destacar el uso de plantas con propiedades específicas que ayudan a mitigar problemas ambientales generados por la contaminación, entre las cuales se encuentra la planta conocida como moringa (*Moringa oleifera*), la cual reúne una serie de propiedades físicas y químicas que contribuyen a mejorar significativamente ciertos componentes contaminantes, principalmente en los afluentes hídricos [19].

La moringa oleífera ha sido utilizada en los procesos de tratamiento de agua potable y aguas residuales ya que actúa como ayudante de purificación, su éxito se debe a que sus semillas están compuestas por proteínas catiónicas con alto poder de absorción que son capaces de eliminar los agentes tóxicos del agua. A través de los residuos de moringa oleífera, como cascara y tallos se ha obtenido resultados positivos de remoción y absorción de diferentes metales pesados (Ni, Cu, Cd). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [20], la moringa es la especie económicamente más valiosa, sus hojas son ricas en proteínas, vitaminas A, B y C, y minerales. Por lo que se prevé que puede servir como alternativa de remoción de nutrientes presentes en los cuerpos de agua entre ellos los nitratos. En consecuencia, existe la necesidad de realizar ensayos de laboratorio buscando resultados significativos sobre adsorción, remoción de nitrato en el agua. Es por ello, la necesidad de incursionar en investigaciones que permitan descubrir estrategias alternativas que faciliten la remoción de contaminantes en el agua y a su vez sea un proceso económico [17].

Por lo anteriormente expuesto, este trabajo se avoca a la utilización las semillas de *Moringa oleifera* Lam como bioadsorbente para remover el nitrato en una muestra de agua de la av. Malecón del río Chillón, distrito de Puente Piedra – 2023, con el fin de proporcionar una alternativa para mitigar el problema ambiental en este tramo del río, aportar soluciones para el equilibrio y supervivencia de los ecosistemas acuáticos.

II. METODOLOGÍA

A. *Materia prima, insumos y equipos*

Se tomó una muestra de 6 L de agua superficial de la cuenca baja del río Chillón, UTM: 271646-N y 8676422-E,

Región Lima, Perú. Se usaron insumos según la norma técnica RM N° 553-2010/MINSA [21], como: caja conservadora, gel refrigerante, frascos de vidrio estéril de color transparente, con tapa rosca de boca ancha (200 mL), termómetro, etiqueta y plumón indeleble.

B. Diseño experimental

Se desarrolló un diseño experimental factorial 2³ [22], como se detalla en la Tabla I.

TABLA I
DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL

Variables	Niveles	
pH	5	8
Tiempo (min)	20	40
Dosis (g/100 mL)	1	2

C. Procedimiento de recolección de la muestra

La recolección siguió el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales según la Autoridad Nacional del Agua [23].

D. Procedimiento de obtención de biosorbente

Se obtuvo a partir de un tratamiento físico de la semilla de moringa donde el producto pasó por un proceso de molienda, lavado y secado de forma natural, exponiéndola al sol en un recipiente metálico plano [24].

E. Tratamiento del agua superficial con bioadsorbente

Luego se captó 6 litros de agua del río Chillón que se mantuvo en oscuridad por un plazo de 24 horas para medir los parámetros iniciales de concentración de nitratos, turbidez, pH y conductividad. Durante el experimento, se preparó un total de 8 tratamientos por duplicado, en la cual se trató muestras de un volumen de 100 mL de agua superficial, registrando las medidas posttratamiento de concentración de nitratos, turbidez, pH experimento. En la Fig. 1, se señala el procedimiento experimental.

F. Medición de parámetros fisicoquímicos

La turbidez se midió utilizando un turbidímetro portátil HACH modelo 2100 Q y se expresó en unidades de turbidez nefelométricas (NTU). Las mediciones de conductividad (µs/cm), sólidos totales disueltos (mg/L), pH y nitratos (en unidades mg/L) se realizó con un Multímetro portátil marca HACH modelo HQ40D.

G. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software MS Excel, considerando el efecto de los factores: pH, tiempo y dosis sobre el porcentaje de remoción de nitrato.

III. RESULTADOS

La Tabla II se puede observar que todos los parámetros iniciales y finales se encuentran por debajo del estándar de

calidad ambiental ECA decreto supremo 0004-2017 (MINAM, 2017), para aguas superficiales. los ríos dentro de la norma entran en la tercera categoría “Riego de vegetales y bebida de animales” e indica que los nitratos no deben superar la concentración de 100 mg/L.

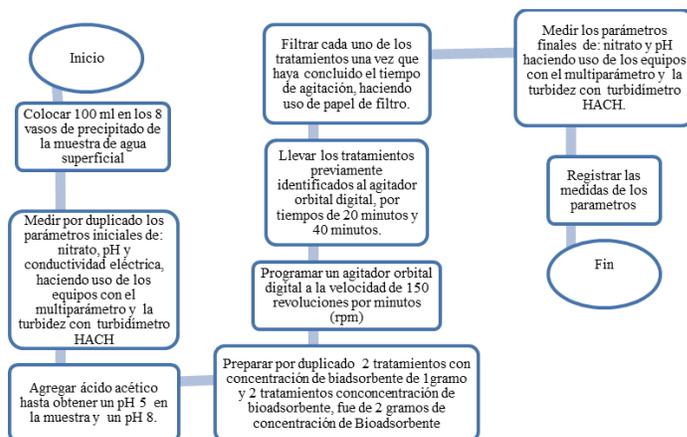


Fig. 1 Tratamiento del agua superficial con biosorbente de moringa.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA MUESTRA DE AGUA SUPERFICIAL

Análisis	Valor
Nitrato (mg /L)	36,80 ± 0,29
Conductividad (µs/cm)	503 ± 12,2
pH	6,50 ± 0,25
Turbidez (NTU)	23,70 ± 1,10
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	244 ± 4,8

TABLA III
CONTENIDO DE NITRATOS POST TRATAMIENTO BIOSORBENTE

Tratamiento	pH	Tiempo de contacto (min)	Dosis de moringa (g)	Nitrato (mg/L)
1	8	40	1	15,40 ± 0,71
2	5	40	1	18,70 ± 0,71
3	8	20	2	16,50 ± 0,42
4	5	20	2	25,70 ± 0,57
5	8	20	1	9,82 ± 1,39
6	5	40	2	23,25 ± 0,42
7	8	40	2	26,60 ± 2,83
8	5	20	1	21,05 ± 2,33

Para la realización de este proyecto se determinaron condiciones apropiadas para la labor con semillas y tallos de *Moringa oleifera* como adsorbente de nitrato; examinando la capacidad de remoción en aguas superficiales con contenido nitratos, en ese sentido desarrollado y comparando la eficiencia del tratamiento alterno planteado con las actuales tecnologías empleadas.

TABLA IV
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL CONTENIDO DE NITRATO

Fuente	GL	SC	CM	F	p
Modelo	7	382,9	54,7	23,4	0,00*
Lineal	3	297,3	99,1	42,4	0,00*
pH (A)	1	136,7	136,7	58,5	0,00*
Tiempo (B)	1	15,5	15,5	6,7	0,03*
Dosis (C)	1	145,0	145,0	62,1	0,00*
Interacciones 2 factores	3	85,0	28,3	12,1	0,002*
A x B	1	76,4	76,4	32,7	0,00*
A x C	1	8,1	8,1	3,5	0,10*
B x C	1	0,5	0,5	0,2	0,66*
Interacciones 3 factores	1	0,7	0,7	0,28	0,61*
A x B x C	1	0,7	0,7	0,28	0,61*
Error	8	18,7	2,3		
Total	15	401,6			

*Significativo a $p < 0,05$, $R^2 = 95,35\%$

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Nitrito} = 51,3 - 6,53 \text{ pH} - 0,639 \text{ Tiempo} + 4,1 \text{ Dosis} + 0,1053 \text{ pH} * \text{Tiempo} + 0,14 \text{ pH} * \text{Dosis} - 0,140 \text{ Tiempo} * \text{Dosis} + 0,0269 \text{ pH} * \text{Tiempo} * \text{Dosis}$$

El análisis de varianza del contenido de nitrato (Tabla IV) reveló que existe efecto significativo de los factores individuales (pH, tiempo y dosis) y de las interacciones de 2 factores (A x B). El modelo fue significativo y descrito por la ecuación de regresión que tuvo un coeficiente de determinación alto ($R^2 = 95,35\%$), lo que significa que las tres variables y sus interacciones explican el 95,35% de la variabilidad del contenido de nitrato en el agua superficial en estudio.

El contenido de nitrato post tratamiento con biosorbente de moringa (Tabla III) varió de 9,82 a 26,60 mg/L, siendo el tratamiento 5 el que se redujo significativamente a 9,82 mg/L, valor que se encuentra debajo del estándar de calidad ambiental (ECA). Se determinó el mejor rendimiento de remoción de nitrato con semillas de *Moringa oleifera* Lam como bioadsorbente según la Tabla V, fue el tratamiento 5, pues el contenido en nitrato disminuye de 36,8 a 9,82 mg/L con un porcentaje de remoción del 74,83%. En concordancia con Ahumada y Severiche [5], la remoción de fosfato y nitrato en aguas servidas usando como adsorbente semillas y tallos, estuvo en función del pH y la temperatura.

El efecto significativo del pH explicó que el pH alcalino (pH = 8) es más eficiente (Fig. 2) que el pH ácido (pH = 5) (Tabla III), en la reducción del contenido en nitrato, debido a que la presencia de aminoácidos alcalinos obtendrá una mejor reducción en las aguas superficiales [25].

Al contrario de Chethana et al., quienes estudiaron aguas residuales domésticas con menor carga contaminante y encontraron que, a pH ácidos los porcentajes de remoción son mejores, debido, posiblemente, a la presencia de polímeros no iónicos, de los detergentes por ejemplo [26].

TABLA V
REMOCIÓN DE NITRATOS POST TRATAMIENTO BIOSORBENTE

T	pH	Tiempo de contacto (min)	Dosis de moringa (g)	Porcentaje de remoción Nitrato (%)
1	8	40	1	58,15 ± 1,92
2	5	40	1	49,18 ± 1,92
3	8	20	2	55,16 ± 1,15
4	5	20	2	30,16 ± 1,54
5	8	20	1	74,83 ± 1,66
6	5	40	2	36,82 ± 3,66
7	8	40	2	35,86 ± 7,69
8	5	20	1	42,79 ± 6,34

Con esto se puede deducir que la variación de contenido en nitratos con semillas de *M. oleifera*, en este trabajo, no es influenciada por fuerzas electrostáticas, sugiriendo que el mecanismo se basa en adsorción y formación de puentes [26]. Por lo tanto, se considera más apropiadamente denominar a la moringa como bioadsorbente. La verificación con medición del potencial Zeta indica que los mecanismos de reducción de nitratos más probables con la utilización de las semillas de *M. oleifera* son adsorción – neutralización de cargas y adsorción y formación de puentes [27], y pueden darse de forma simultánea [28].

TABLA VI
ANÁLISIS DE VARIANZA DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRATO

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Modelo	7	2985,5	426,51	26,96	0,000*
Lineal	3	2309,8	769,95	48,68	0,000*
pH (A)	1	1057,7	1057,71	66,87	0,000*
Tiempo (B)	1	131,4	131,39	8,31	0,020*
Dosis (C)	1	1120,7	1120,74	70,86	0,000*
Interacciones 2 factores	3	673,6	224,54	14,20	0,001*
A x B	1	600,4	600,37	37,96	0,000*
A x C	1	71,9	71,87	4,54	0,066
B x C	1	1,4	1,37	0,09	0,776
Interacciones 3 factores	1	2,1	2,08	0,13	0,726
A x B x C	1	2,1	2,08	0,13	0,726
Error	8	126,5	15,82		
Total	15	3112,1			

*Significativo a $p < 0,05$, $R^2 = 95,93\%$

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\% \text{ Remoción Nitrato} = -49,4 + 19,75 \text{ pH} + 1,99 \text{ Tiempo} - 6,0 \text{ Dosis} + 0,336 \text{ pH} * \text{Tiempo} - 1,38 \text{ pH} * \text{Dosis} + 0,254 \text{ Tiempo} * \text{Dosis} - 0,048 \text{ pH} * \text{Tiempo} * \text{Dosis}$$

El análisis de varianza del porcentaje de remoción de nitrato (Tabla VI) muestra que existe un efecto significativo de los términos lineales de pH, tiempo y dosis de moringa, así como la interacción de 2 factores de A x B, sobre el porcentaje

de remoción de nitratos. Además, el modelo se ajusta a los datos de acuerdo con el coeficiente de determinación ($R^2 = 95,93\%$), que indica que, el 95,93% de la variabilidad del porcentaje de remoción de nitrato es explicado por el modelo.

En cuanto a la variable dosis de moringa se observó que el mayor efecto de la dosis fue de 1 g/100 mL de bioadsorbente de semillas de *Moringa oleifera* Lam (Fig. 2), que obtuvo el mayor porcentaje de rendimiento remoción del nitrato con un 74,83%. Estos resultados coinciden con el trabajo de usaron torta de moringa [29] y semilla molida de moringa [30], que demostraron que a mayor dosis de moringa menor es la eficiencia de remoción de la semilla moringa, en este caso se obtuvo una remoción de 74,83% concentraciones de 1 g/100 mL, mientras que con dosis de 5 g/mL se obtuvo valores tan bajos como 30,16% de remoción de nitrato.

Una mínima cantidad de biosorbente no anula la carga total de las partículas, asimismo, una cantidad alta de biosorbente solo produce la inversión de la carga de la partícula. En ambos casos se obtiene una turbiedad residual elevada y otras características fisicoquímicas similares [29].

En cuanto al efecto del tiempo se observó que a 20 minutos de contacto con el biosorbente se obtuvo la mayor remoción del nitrato que fue del 74,83 % (Tabla V). En la Fig. 2 se observa que a menor tiempo de contacto menor es el porcentaje de remoción de nitratos. Este fenómeno no coincide con otro resultado con torta de moringa [29], que indicó que a mayor tiempo mayor porcentaje de remoción.

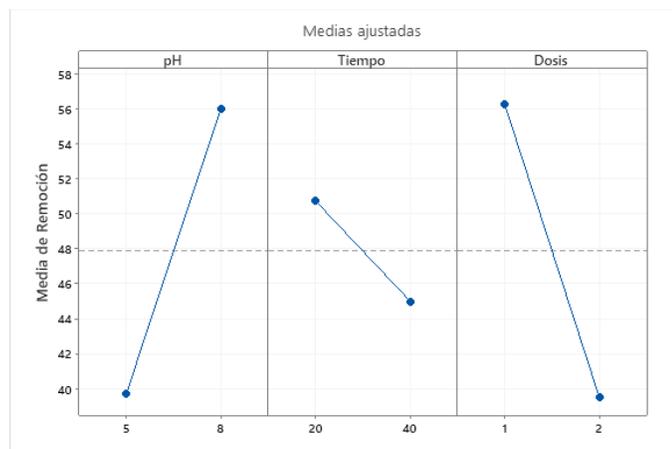


Fig. 2 Gráfica de efectos principales para porcentaje de remoción de nitrato.

Es probable que, la eficiencia como agente adsorbente de la semilla de moringa, es debido a las interacciones de un adsorbente y un adsorbato, teniendo dos fuerzas que conducen a la adsorción física y química. El principal mecanismo que predominó en el proceso de adsorción fue la interacción electrostática [31]. La fisisorción se da por las fuerzas de Van der Waals que son débiles en general y la quimisorción basada en enlaces covalentes [32]. El primer paso de la adsorción es la propagación del adsorbente desde la masa de biosorbente hasta la superficie exterior de la partícula biosorbente, el segundo paso consiste en la propagación del biosorbente hasta llegar a la

superficie y, por último, se renueva en adsorbato cuando se adsorbe la superficie del poro [12]. La capacidad del biosorbente depende de los sitios activos de la superficie [32].

IV. CONCLUSIONES

El presente trabajo da un acercamiento al tratamiento de aguas superficiales utilizando semillas de moringa como bioadsorbente. Se deben considerar las limitaciones del análisis experimental, pues existen sistemas más sofisticados en el tratamiento de aguas, que deben tomarse en cuenta o complementarse con este tratamiento. Otros factores pueden impactar en el contenido en nitrato del agua, sin embargo, el R^2 elevado asegura que la bioadsorción de nitrato en otras condiciones de terreno, clima, presión, temperatura, etc., arroje los mismos o mejores resultados. Se determinó que existe efecto significativo del pH (8), tiempo (20 min) y dosis de moringa (1 g/100 mL) que proporcionaron el mayor porcentaje de remoción de nitrato (74,83%) obtenido con bioadsorbente de semillas de *Moringa oleifera* Lam.

REFERENCIAS

- [1] J. Morocho, S. Gordillo, Evaluación de la remoción de nitratos y fosfatos con microalga, especie "Chlorella vulgaris" en agua residual procedente del río Machángara del sector Chimbacalle, cantón Quito, provincia Pichincha 2022-2023, Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, 2023. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24421> (accessed July 31, 2024).
- [2] Soria-Reinoso, J. Alcocer, S. Sánchez-Carrillo, F. García-Oliva, D. Cuevas-Lara, D. Cortés-Guzmán, L.A. Oseguera, The seasonal dynamics of organic and inorganic carbon along the tropical Usumacinta River Basin (México), Water (Basel) 14 (2022) 2703.
- [3] M. Svampa, E. Viale, El colapso ecológico y allegó: una brújula para salir del (mal) desarrollo, Siglo XXI editores, 2020.
- [4] J.N. Hinostroza, F.R. Junco, Evaluación del rendimiento de remoción de nitrato en aguas superficiales mediante el uso de semilla de moringa (*Moringa oleifera* Lam) como bioadsorbente en la cuenca baja del río Chillón-distrito Puente Piedra, 2023, Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, 2024. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/36837> (accessed July 31, 2024).
- [5] N.J. Ahumada, J.E. Severiche, Implementación de un tratamiento alternativo para la remoción de fósforo y nitrógeno en aguas residuales mediante adsorbentes a base de semillas y tallos de moringa oleifera LAM, Tesis de pregrado, Universidad de la Costa, 2018. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/4663> (accessed July 31, 2024).
- [6] J.B. Alves, M.M. dos Santos, Relações entre contaminação de aquíferos subterráneos no semiárido e disposição inadequada de resíduos sólidos, Brazilian Journal of Development 9 (2023) 14810–14827.
- [7] J.H. Vásquez, J.M. Gonzáles, R.Y. López, P. V Pino, J.L. Pino, B. Shiga, Integridad del ADN espermático y la toxicidad reproductiva del nitrato de plomo en ratones machos adultos, Revista de La Facultad de Medicina Humana 23 (2023) 24–30.
- [8] M. Alikhani, M.R. Moghbeli, Ion-exchange polyHIPE type membrane for removing nitrate ions: Preparation, characterization, kinetics and adsorption studies, Chemical Engineering Journal 239 (2014) 93–104.
- [9] T. Öznülür, B. Özdurak, H.Ö. Doğan, Electrochemical reduction of nitrate on graphene modified copper electrodes in alkaline media, Journal of Electroanalytical Chemistry 699 (2013) 1–5.
- [10] R. Epsztein, O. Nir, O. Lahav, M. Green, Selective nitrate removal from groundwater using a hybrid nanofiltration–reverse osmosis filtration scheme, Chemical Engineering Journal 279 (2015) 372–378.
- [11] S. Lee, K. Lee, S. Rhee, J. Park, Development of a new zero-valent iron zeolite material to reduce nitrate without ammonium release, Journal of Environmental Engineering 133 (2007) 6–12.

- [12] A. Abou-Shady, C. Peng, J. Bi, H. Xu, Recovery of Pb (II) and removal of NO₃⁻ from aqueous solutions using integrated electro dialysis, electrolysis, and adsorption process, *Desalination* 286 (2012) 304–315.
- [13] J. Chung, K. Amin, S. Kim, S. Yoon, K. Kwon, W. Bae, Autotrophic denitrification of nitrate and nitrite using thiosulfate as an electron donor, *Water Res* 58 (2014) 169–178.
- [14] A. Bhatnagar, M. Sillanpää, A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water, *Chemical Engineering Journal* 168 (2011) 493–504.
- [15] A.D. Bustos Gómez, V.A. Guáqueta Villalobos, Diseño de un proceso químico para la remoción de exceso de nitratos presentes en el agua de la fuente hídrica del Río Subachoque., (2022).
- [16] J.T. Martínez, Voces de la Amazonía: el presente y el futuro de los derechos humanos y los derechos de la naturaleza. Tomo I, U. Externado de Colombia, 2022.
- [17] L. Riera, El río Chillón de Lima excede en 12 veces los límites de contaminación, *EuroNews* (2020). <https://es.euronews.com/2020/02/12/el-rio-chillon-de-lima-excede-en-12-veces-los-limites-de-contaminacion> (accessed July 31, 2024).
- [18] B.I. Murrugarra-Retamozo, Environmental pollution of the river and the degree of civil liability of the population of the Chillón River in 2018 period, *Producción+ Limpia* 16 (2021) 62–82.
- [19] C. Harbey, O. Claudia, Evaluación de la acción de semillas de moringa oleífera como alternativa de coagulación a los procesos de coagulantes convencionales para la remoción de color y turbiedad en la planta de tratamiento de agua del municipio de Potosí, (2019).
- [20] N. Rodriguez, M. McLaughlin, D. Pennock, La contaminación del suelo: una realidad oculta, FAO (2019). <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7d70ca8d-7503-4839-8d6b-8250e9add8ac/content> (accessed July 31, 2024).
- [21] DIGESA, Procedimiento de Toma de Muestra del Agua de Mar en Playas de Baño y Recreación, Ministerio de Salud (2011). http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Gu%C3%ADA%20Tecnica%20Proced_Tom_Muestras_Playas.pdf (accessed July 31, 2024).
- [22] H. Gutiérrez Pulido, R. de la Vara Salazar, Análisis y diseño de experimentos, 2nd ed., Mc Graw Hill - Interamericana, México DF, 2008.
- [23] ANA, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Recursos Hídricos Superficiales según la Autoridad Nacional del Agua, Autoridad Nacional Del Agua (2016). https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf (accessed July 31, 2024).
- [24] J.C. Barreto, P. Tovar, A. Olaya, Sistema de tratamiento para aguas mieles producto del beneficio húmedo del café con moringa oleífera lam como bioadsorbente para el pequeño caficultor colombiano, *Ingeniería y Región* (2020) 105–114.
- [25] A.S. Cañari, K.N. Leon, Reducción de turbidez mediante los coagulantes naturales (Moringa oleífera) y (Opuntia ficus-indica) en aguas superficiales de la Quebrada Huaycoloro, 2022, Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, 2023. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33816> (accessed July 31, 2024).
- [26] M. Chethana, L.G. Sorokhaibam, V.M. Bhandari, S. Raja, V. V Ranade, Green approach to dye wastewater treatment using biocoagulants, *ACS Sustain Chem Eng* 4 (2016) 2495–2507.
- [27] A. Ndabigengesere, K.S. Narasiah, B.G. Talbot, Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleífera, *Water Res* 29 (1995) 703–710.
- [28] M. Carvalho Bongiovani, F.P. Camacho, L. Nishi, P. Ferri Coldebella, K. Cardoso Valverde, A.M.S. Vieira, R. Bergamasco, Improvement of the coagulation/flocculation process using a combination of Moringa oleífera Lam with anionic polymer in water treatment, *Environ Technol* 35 (2014) 2227–2236.
- [29] H. Alvarez-Chancasanampa, J.G. Juscamaita-Morales, M.M. Gomero, F. de Mendiburu Delgado, M. Silva-Jaimes, G.J. Carrión-Carrera, J.J. Alvarez-Chancasanampa, Uso de la torta de semilla de Moringa oleífera Lam. en la clarificación de aguas residuales, *Manglar* 20 (2023) 389–395.
- [30] J. Sánchez Martín, J. Beltrán de Heredia Alonso, La Moringa oleífera, un recurso agrosostenible para la potabilización de aguas (Moringa oleífera, an agro-sustainable resource for making drinking water), *Cuademo Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible (CUIDES)* (2010) 159–174.
- [31] Y. Zhan, J. Lin, Z. Zhu, Removal of nitrate from aqueous solution using cetylpyridinium bromide (CPB) modified zeolite as adsorbent, *J Hazard Mater* 186 (2011) 1972–1978.
- [32] G. Su, S. Yang, Y. Jiang, J. Li, S. Li, J.-C. Ren, W. Liu, Modeling chemical reactions on surfaces: The roles of chemical bonding and van der Waals interactions, *Prog Surf Sci* 94 (2019) 100561.