



Tratamiento biológico de nitratos y nitritos mediante *Scenedesmus* sp.: evidencia experimental en Cajamarca

Biological Treatment of Nitrates and Nitrites Using *Scenedesmus* sp.: Experimental Evidence in Cajamarca

Dina Flor Chavez-Collantes ^{1*}, Roberto Bruno Reyes-Aspiros ²


¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

² Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

Dina Flor Chavez-Collantes

 <https://orcid.org/0009-0002-9590-9868>

Roberto Bruno Reyes-Aspiros

 <http://orcid.org/0000-0002-1433-7750>

Artículo Original

Recibido: 22 de julio de 2024

Aceptado: 17 de noviembre de 2024

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de la microalga *Scenedesmus* sp. en la remoción de nitratos y nitritos en la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Cajamarca, en comparación con los estándares de calidad ambiental establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Se empleó un diseño experimental con enfoque cuantitativo, aplicando la microalga a muestras de agua residual y determinando las concentraciones de nitratos y nitritos antes y después del tratamiento. Asimismo, se analizaron parámetros fisicoquímicos como pH y temperatura. Los resultados evidenciaron una reducción de hasta 92 % de nitratos y una remoción total de nitritos, alcanzando concentraciones dentro de los límites permisibles. No se observaron variaciones significativas en la temperatura, mientras que el pH se mantuvo dentro del rango normativo. Los hallazgos confirman la viabilidad de *Scenedesmus* sp. como una alternativa biotecnológica eficiente y sostenible para el tratamiento de aguas residuales municipales.

Palabras clave: microalga, *Scenedesmus* sp., agua residual, remoción

Abstract

The aim of this study was to evaluate the efficiency of the microalga *Scenedesmus* sp. in the removal of nitrates and nitrites at the wastewater treatment plant of the province of Cajamarca, in comparison with the environmental quality standards established in Supreme Decree No. 004-2017-MINAM. An experimental design with a quantitative approach was employed, applying the microalga to wastewater samples and determining nitrate and nitrite concentrations before and after treatment. In addition, physicochemical parameters such as pH and temperature were analyzed. The results showed a reduction of up to 92% in nitrates and complete removal of nitrites, achieving concentrations within the permissible limits. No significant variations in temperature were observed, while pH remained within the regulatory range. These findings confirm the viability of *Scenedesmus* sp. as an efficient and sustainable biotechnological alternative for municipal wastewater treatment.

Key words: Zoonosis; parasites; pig park; *Trichuris* spp, HPG

*Autor para correspondencia: E. mail: dfchavezco@unitru.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2024.44.02.04>

Citar como:

Chavez-Collantes, D., & Reyes-Aspiros, B. (2024). Tratamiento biológico de nitratos y nitritos mediante *Scenedesmus* sp.: evidencia experimental en Cajamarca. *REBIOL*, 44(2), 42-50



1. Introducción

La contaminación del agua constituye una de las problemáticas ambientales más críticas a nivel mundial, debido a sus efectos adversos sobre la salud humana y los ecosistemas acuáticos. En el Perú, la inadecuada gestión de las aguas residuales domésticas e industriales ha generado graves impactos en la calidad de los cuerpos de agua, favoreciendo procesos de eutrofización y la pérdida de biodiversidad acuática, particularmente asociados a la acumulación de nutrientes como nitratos y nitritos (Roa & Cañizares, 2012; Dávila, 2016). Las descargas de efluentes sin tratamiento adecuado superan la capacidad natural de autorregeneración de los ecosistemas, agravando la contaminación de ríos y quebradas y comprometiendo el equilibrio ecológico (Sánchez, 2016).

En la región Cajamarca, esta problemática se manifiesta de manera preocupante en el río Mashcón, donde los vertimientos de aguas servidas afectan el uso sostenible del recurso hídrico. El crecimiento urbano acelerado y la insuficiencia de servicios básicos de saneamiento incrementan la carga de nutrientes en los cuerpos de agua, intensificando los procesos de contaminación, tal como ha sido evidenciado en estudios de tratamiento de aguas residuales con microalgas (Dávila, 2016; Sánchez, 2016).

A nivel internacional, múltiples investigaciones han explorado el uso de microalgas como una alternativa biotecnológica eficiente para el tratamiento de aguas residuales, destacando especies del género *Scenedesmus* por su elevada capacidad para remover nutrientes nitrogenados y fosforados (Oliveira et al., 2018; Roa & Cañizares, 2012). Oliveira et al. (2018) demostraron una alta correlación entre la acumulación de biomasa y la remoción de nitratos y nitritos, mientras que Roa y Cañizares (2012) reportaron eficiencias significativas en la eliminación de estos compuestos. Asimismo, Morillas et al. (2021) evidenciaron que los sistemas de retención celular incrementan notablemente la productividad de

biomasa y la eficiencia del tratamiento, alcanzando remociones superiores al 99 % de compuestos nitrogenados.

En el contexto nacional, diversos estudios confirman la adaptabilidad de *Scenedesmus* sp. a aguas residuales domésticas e industriales. Dávila (2016) reportó altos niveles de remoción de nitrógeno amoniacal, nitratos y ortofosfatos, con eficiencias superiores al 90 %, mientras que Sánchez (2016) comprobó la efectividad de la fitorremediación con *Scenedesmus* sp. en aguas residuales universitarias, alcanzando hasta un 70 % de remoción de contaminantes. Estos resultados coinciden con investigaciones internacionales que destacan la eficiencia de este género frente a otros sistemas biológicos de tratamiento (Oliveira et al., 2018; Morillas et al., 2021).

En este marco, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la microalga *Scenedesmus* sp. en la eliminación de nitratos y nitritos presentes en las aguas residuales de la provincia de Cajamarca, aportando evidencia experimental que respalde su aplicación como una alternativa biotecnológica sostenible para el tratamiento de aguas residuales municipales (Dávila, 2016; Sánchez, 2016).

2. Materiales y Métodos

Primera etapa de campo

Las etapas del estudio comprendieron, en primer lugar, una fase preliminar que incluyó (a) la adquisición y transporte del inóculo de *Scenedesmus* sp. en condiciones controladas, (b) el mantenimiento y crecimiento de las cepas empleando medio HM durante un mes, (c) la construcción de un biorreactor vertical básico y (d) la adaptación y supervisión del inóculo durante una semana con oxigenación continua. Posteriormente, se desarrolló la primera etapa con la recolección de muestras de agua residual para establecer parámetros de referencia; la segunda etapa consistió en la preparación de tratamientos con diferentes diluciones

(T0: 0%, T1: 30%, T2: 50%, T3: 70% de agua residual) manteniendo un volumen total de 1 L con 100 ml de inóculo; la tercera etapa incluyó la evaluación y monitoreo del crecimiento y adaptación de *Scenedesmus sp.* en cada tratamiento, aplicando en T0 adiciones semanales de medio HM para preservar la viabilidad de la cepa; la cuarta etapa contempló el registro de datos de indicadores microalgales; la quinta etapa, la observación microscópica a 40x de la microalga y del medio residual; y la sexta etapa, la revisión, análisis y comparación de resultados con investigaciones previas, que permitieron elaborar la discusión y las conclusiones del estudio.

Tabla 1

Sistema de tratamiento

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				
Parámetros (ml)	T0	T1	T2	T3
	0% H-M	30%	50%	70%
Agua residual	0	300	500	700
Agua destilada	900	600	400	200
Inóculo	100	100	100	100
Total (ml)	1000	1000	1000	1000

Figura 1

Distribución de los tratamientos



Segunda etapa: de laboratorio

Representada por las acciones y trabajo de laboratorio, análisis de las muestras; mismas que fueron determinadas y sistematizadas por el Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional de Cajamarca (laboratorio acreditado); bajo el protocolo en toma, almacenamiento, envío de muestras y método para la detección utilizado. Las muestras se recolectaron siguiendo el protocolo proporcionado por el laboratorio y de acuerdo al cronograma establecido para evaluar los fotobiorreactores. Una vez tomadas, las muestras se enviaron de inmediato. Se utilizó agua de cada sistema de fotobiorreactores, tanto de tratamiento con microalga *Scenedesmus sp* con el testigo, con el fin de brindar una mayor explicación en la investigación. Los envíos se realizaron cada 7 días durante un período de 3 meses, lo que resultó en un total de 12 monitoreos.

Tabla 2

Métodos de detección

Ítem	Parámetro	Método de detección
01	Nitratos y nitritos	Método EPA 300.1 Revisión 1.0 del año 1997, validado, para la determinación de aniones inorgánicos en agua potable mediante cromatografía de iones. Esta es la Parte A del método.

Tercera etapa: de gabinete

En esta etapa se llevaron a cabo dos aspectos fundamentales. En primer lugar, se determinó la remoción de nitratos y nitritos en términos de porcentaje. En segundo lugar, se realizó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos. Se realizaron evaluaciones cada siete días durante un período de tres meses y los datos fueron analizados utilizando el software estadístico SPSS v25. Se aplicó un diseño estadístico Completamente Randomizado.

3. Resultados

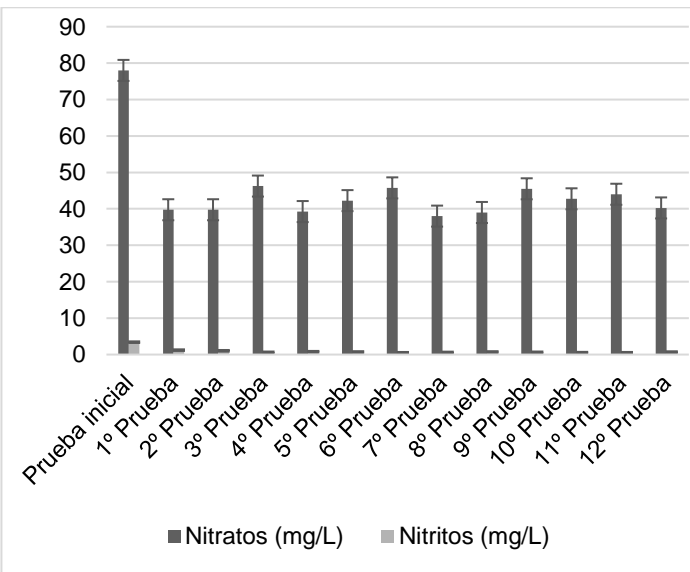
Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y nitratos de la microalga *Scenedesmus sp* en la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Cajamarca, 2023.

Los resultados corresponden a doce ensayos realizados con efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cajamarca, analizados por el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca.

La Figura 3 muestra una alta eficiencia de *Scenedesmus sp.* en la remoción de nutrientes nitrogenados. Las concentraciones de nitratos disminuyeron de 76–78 mg/L a 6–12 mg/L en la etapa T3, alcanzando hasta un 92 % de remoción. Los nitritos, con valores iniciales de 1.57–3.83 mg/L, fueron eliminados casi por completo, registrándose remociones de hasta el 100 %. En las etapas intermedias (T1 y T2) también se observaron reducciones significativas, con eficiencias entre 16 % y 99 %, lo que evidencia una rápida adaptación del sistema al efluente tratado.

Figura 3

Capacidad de remoción de nitratos y nitritos



Fuente: LRA – GORE Cajamarca (2023)

Concentraciones de nitratos y nitritos antes y después del tratamiento con *Scenedesmus sp.*

Los resultados corresponden a la caracterización del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cajamarca, a partir de una muestra colectada en diciembre de 2024 y analizada por el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca.

El análisis evidenció concentraciones elevadas de nitratos (78 mg/L) y nitritos (3.4 mg/L), que superaron los límites establecidos por la norma ECA C-4 (13 mg/L y 0.03 mg/L, respectivamente) (Tabla 3). El pH se mantuvo dentro del rango permitido (7.2), mientras que la temperatura registrada (17.8 °C) podría representar un riesgo potencial para la biota acuática si la condición natural del cuerpo receptor fuese inferior a 14 °C. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de implementar medidas orientadas a la reducción de nutrientes y al control de las fuentes de alteración térmica.

Tabla 3

Valores reportados del efluente de la PTAR Cajamarca

Parámetro	Unidad	Resultado	Comparación
			Norma ECA (C-4) (*)
Nitrato (NO ₃ -)	mg L-1	78	13
Nitrito (NO ₂ -)	mg L-1	3.4	0.03
pH (25°C)	pH	7.2	6,5 – 9,0
Temperatura	°C	17.8	Δ 3=17

Fuente: LRA – GORE Cajamarca (2024)

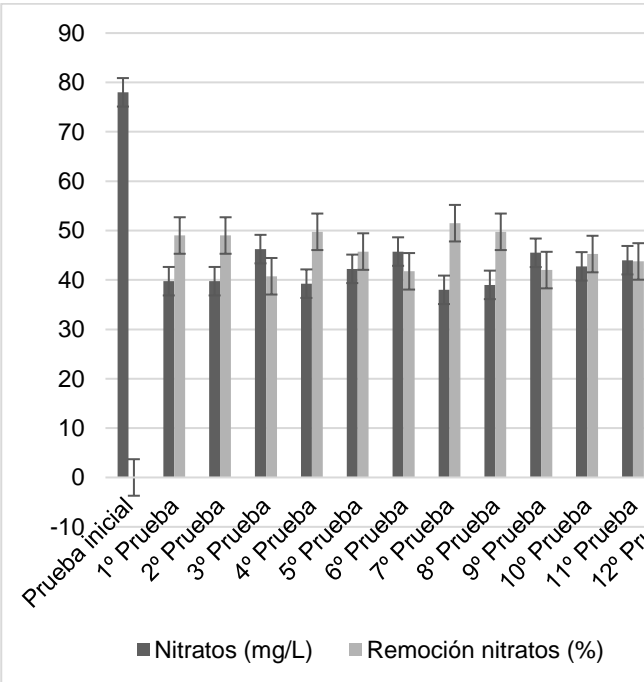
(*) Estándar de Calidad Ambiental para agua - Valor indicado en el ECA – Categoría 4 – Conservación del ambiente acuático E2=Ríos de la costa y sierra.

El estudio evidenció una disminución significativa de nitratos, reduciendo las concentraciones iniciales de 76–78 mg/L a 6–12 mg/L al finalizar el

tratamiento (T3), con eficiencias de remoción de hasta 92 %. En las etapas iniciales (T1 y T2), la reducción fue variable (16 %–69 %), mostrando una mejora progresiva a lo largo del proceso. En general, todas las pruebas lograron una depuración considerable, aunque con diferencias en la velocidad y magnitud de remoción. Estos resultados confirman la efectividad del proceso aplicado para la eliminación de nitratos y destacan su potencial para el tratamiento de aguas contaminadas (Figura 4).

Figura 4.

Porcentajes de remoción de nitratos

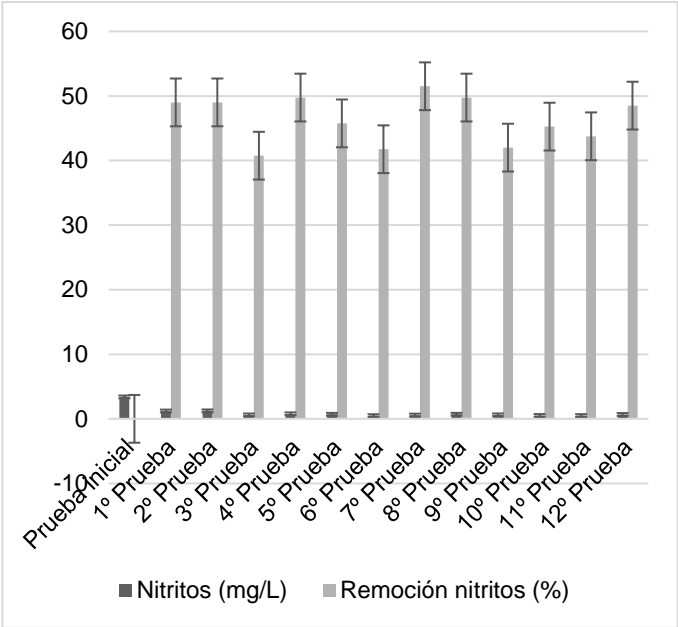


En la Figura 5, los resultados de las pruebas de remoción de nitritos muestran una reducción significativa desde valores iniciales que oscilan entre 1.57 mg/L y 3.83 mg/L hasta alcanzar niveles cercanos a 0 mg/L en la mayoría de los casos al final del tratamiento (T3), con eficiencias de remoción de hasta el 100%. En las etapas intermedias (T1 y T2), la reducción de nitritos varió considerablemente, con valores de remoción que oscilaron entre el 56% y el 99%, lo que evidencia un proceso progresivo de eliminación. No obstante, en la mayoría de las pruebas se logró una remoción prácticamente total en la fase final, lo que sugiere que el proceso es altamente

eficiente y adecuado para la eliminación de nitritos en cuerpos de agua contaminados.

Figura 5.

Porcentajes de remoción de nitritos



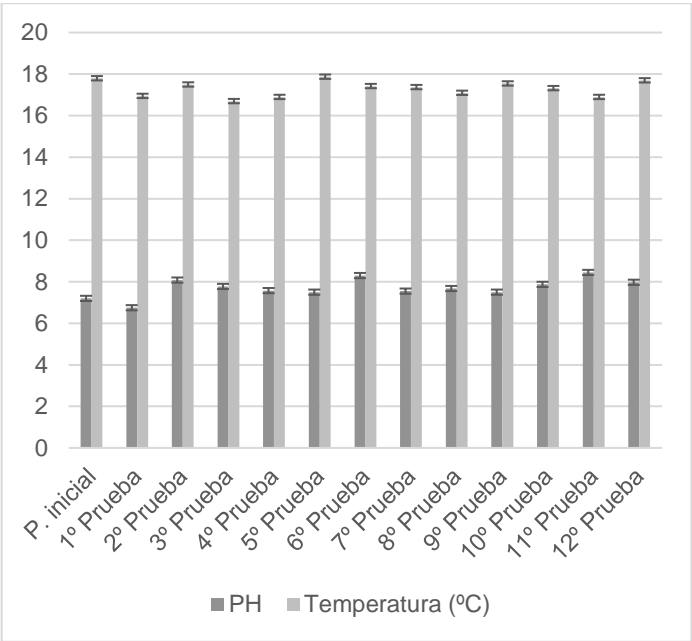
Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de temperatura y pH en cada unidad de tratamiento antes y después del tratamiento con la microalga *Scenedesmus sp.*

En la figura 6 se muestra el análisis de los parámetros fisicoquímicos de pH y temperatura antes y después del tratamiento con la microalga *Scenedesmus sp.* en la planta de tratamiento de aguas residuales de la provincia de Cajamarca muestra variaciones significativas en ambos factores a lo largo de las pruebas.

El estudio mostró que el pH inicial del agua (7.0–8.63, promedio 7.2) experimentó variaciones tras el tratamiento con *Scenedesmus sp.*, alcanzando valores finales entre 6.5 y 9.0, lo que evidencia la capacidad de la microalga para modificar la alcalinidad del medio. En contraste, la temperatura se mantuvo prácticamente estable, con ligeras fluctuaciones de 15.3 °C a 18.8 °C respecto al valor inicial de 17.8 °C, indicando que el proceso biológico no genera cambios térmicos relevantes. Estos hallazgos sugieren que la microalga puede regular el pH sin afectar

Figura 6.

Resultados de temperatura y PH



Comparación de los resultados obtenidos después del uso del alga con el Estándar de Calidad Ambiental para efluentes de aguas residuales municipales en base al DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

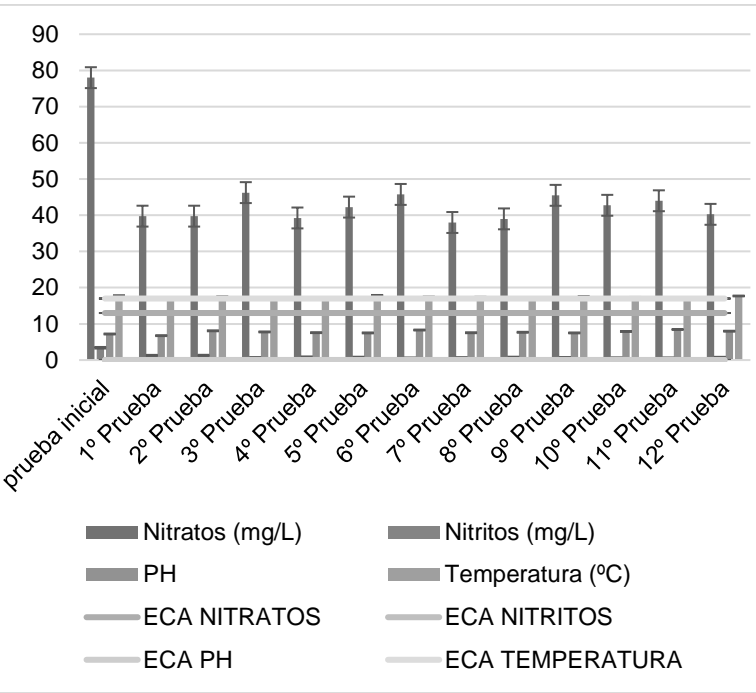
En la figura 7 se muestra el análisis comparativo entre los resultados obtenidos tras el uso de la microalga *Scenedesmus sp.* y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para efluentes de aguas residuales municipales, establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

El tratamiento con *Scenedesmus sp.* logró una reducción significativa de nitratos y nitritos en aguas residuales municipales, alcanzando niveles que cumplen o incluso superan los estándares ambientales. Las concentraciones iniciales (78 mg/L de nitratos y 3.4 mg/L de nitritos) excedían ampliamente los límites normativos (13 mg/L y 0.03 mg/L, respectivamente), pero tras el tratamiento (T3) se redujeron a 6–12 mg/L y 0–0.02 mg/L. El pH se

mantuvo mayoritariamente dentro del rango permitido (6.5–9.0) y la temperatura se estabilizó cerca de 17 °C sin alteraciones relevantes. Estos resultados evidencian la alta eficiencia del proceso y respaldan su viabilidad como alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales.

Figura 7.

Comparación de los resultados obtenidos después del uso del alga con el Estándar de Calidad Ambiental



4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian la alta eficiencia de *Scenedesmus sp.* en la remoción de nitratos y nitritos en aguas residuales, lo que coincide con lo observado en la Figura 3. La marcada reducción de estos nutrientes confirma la capacidad de esta microalga para asimilar compuestos nitrogenados, en concordancia con estudios previos que reportan elevadas eficiencias de remoción. En este sentido, Oliveira et al. (2018) documentaron remociones del 99.81% de nitratos y del 99.9% de nitritos al emplear *Scenedesmus sp.* en efluentes de la industria textil, mientras que otras investigaciones señalaron que este género supera el 90% de eficiencia, superando a

microalgas como *Chlorella* y *Pseudochlorella*, cuyos valores de remoción se aproximan al 65 %.

Asimismo, los resultados mostrados en las Figuras 4 y 5 evidencian no solo una elevada remoción de nutrientes, sino también la estabilidad de las condiciones físico-químicas del medio durante el tratamiento. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Roa y Cañizares (2012), quienes evaluaron el uso de *Scenedesmus incrasatulus* inmovilizado y registraron reducciones superiores al 90 % en nitratos y cercanas al 99 % en nitritos. De manera complementaria, Dávila (2016) demostró que el cultivo de biomasa microalgal en aguas residuales permite una remoción eficiente y sostenible de compuestos nitrogenados, incluso en efluentes con altas cargas contaminantes, además de su potencial para el aprovechamiento energético.

En relación con las variables físico-químicas, la Figura 6 muestra que el pH presentó variaciones asociadas a la actividad fotosintética, manteniéndose dentro de rangos adecuados para el desarrollo microalgal y el equilibrio del sistema. Este comportamiento es consistente con lo reportado por Sánchez (2016), quien señaló que las fluctuaciones de pH dependen del tiempo de tratamiento y de la etapa de crecimiento de *Scenedesmus* sp. Asimismo, la estabilidad térmica observada sugiere condiciones favorables para la eficiencia del proceso y la preservación del equilibrio ecológico.

Finalmente, los resultados integrados en la Figura 7 confirman la efectividad global del tratamiento con *Scenedesmus* sp., permitiendo que los efluentes tratados cumplan con los estándares ambientales exigidos. En conjunto, estos hallazgos respaldan la viabilidad de esta microalga como una alternativa biotecnológica sostenible y eficiente para el tratamiento de aguas residuales municipales con altas concentraciones de nutrientes.

5. Conclusiones

Scenedesmus sp. demostró una alta eficiencia en la remoción de nitratos y nitritos presentes en aguas residuales, alcanzando reducciones significativas de compuestos nitrogenados y destacando el tratamiento T3 como el más efectivo. Las concentraciones finales de nitratos y nitritos se ubicaron por debajo de los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental, evidenciando el cumplimiento de la normativa vigente.

Durante el proceso de tratamiento, el pH y la temperatura se mantuvieron dentro de rangos adecuados, lo que indica que la aplicación de *Scenedesmus* sp. no generó alteraciones adversas en las condiciones fisicoquímicas del efluente.

En conjunto, los resultados confirman que el uso de *Scenedesmus* sp. constituye una alternativa biotecnológica eficiente, segura y ambientalmente sostenible para el tratamiento de aguas residuales municipales, con potencial aplicación en sistemas de depuración orientados a la reducción de nutrientes y la mejora de la calidad del agua.

7. Contribución de los autores

Todos los autores deben haber hecho contribuciones sustanciales en cada uno de los siguientes aspectos: (1) la concepción y el diseño del estudio, o la adquisición de datos, o el análisis y la interpretación de los datos, (2) el borrador del artículo o la revisión crítica del contenido intelectual, (3) la aprobación definitiva de la versión que se presenta.

8. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

9. Referencias Bibliográficas

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. B. M. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257–275.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.04.005>

- Abinandan, S., & Shanthakumar, S. (2015). Challenges and opportunities in application of microalgae (Chlorophyta) for wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.086>
- Acco. (2017). *Validación en métodos de medición analítica*.
- Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2017). *Algae*.
- Beuckels, A., Smolders, E., & Muylaert, K. (2015). Nitrogen availability influences phosphorus removal in microalgae-based wastewater treatment. *Water Research*, 77, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.018>
- Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 557–577. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>
- Cárdenas, G., & Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: Orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Revista de Salud Pública*, 15(1), 1–12.
- Carfagna, S., Salbitani, G., Bottone, C., Marco, A., & Vona, V. (2015). Cross-effects of nitrogen and sulphur starvation in *Chlorella sorokiniana* 211/8K. *Natural Resources*, 6(4), 187–201. <https://doi.org/10.4236/nr.2015.64020>
- Dávila, J. (2016). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa microalgal cultivada en agua residual empleando ozoflotación como método de cosecha* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- EcuRed. (2018). *Tratamiento de aguas residuales*. https://www.ecured.cu/Tratamiento_de_aguas_residuales
- Gómez, C., Morales, M., Ación, F. G., Escudero, R., Fernández, J. M., & Molina, E. (2015). Utilization of secondary-treated wastewater for the production of freshwater microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99, 693–703. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6694-y>
- Guiry, M. D. (2017). *AlgaeBase*. National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>
- Hernández, A., & Labbé, J. (2014). Microalgae: Culture and benefits. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 157–173. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572014000200001>
- Huancollo, C. (2018). *Evaluación de parámetros de cultivo y análisis de la composición nutricional de la microalga Scenedesmus sp. endémica del lago Titicaca en condiciones de laboratorio* [Tesis de licenciatura].
- Instituto del Mar del Perú. (2010). *Mejora de la competitividad de la mediana y pequeña acuicultura: Crucero de caracterización bioecológica de la zona litoral del lago Titicaca*. IMARPE.
- Li, S., Zheng, X., Chen, Y., Song, C., Lei, Z., & Zhang, Z. (2020). Nitrite removal with potential value-added ingredients accumulation via *Chlorella* sp. L38. *Bioresource Technology*, 314, 123743. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123743>
- López, F., & Moroña, L. (2015). *Aislamiento, identificación y cultivo de Chlorella vulgaris con potencial para suplemento nutricional de peces*.
- Meyen, J. (2016). *Evaluación de parámetros de cultivo y análisis de la composición nutricional de la microalga Scenedesmus sp. endémica del lago Titicaca en condiciones de laboratorio* [Tesis de licenciatura].
- Morillas, A., Sánchez, A., Lafarga, T., Morales-Amaral, M. M., Gómez-Serrano, C., Ación-Fernández, F. G., & González-López, C. V. (2021). Improvement of wastewater treatment capacity using the microalga *Scenedesmus* sp. and membrane bioreactors. *Algal Research*, 60, 102516. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102516>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma OS.090: Plantas de tratamiento de aguas residuales* (D. S. N.º 022-2009-VIVIENDA).
- Olivares, R. (2010). *Producción de aceite para usos industriales a partir de la microalga Scenedesmus obliquus* [Tesis de ingeniería]. Universidad de El Salvador.
- Oliveira, G., Carissimi, E., Monje, I., Velasquez, S., Rodrigues, R., & Ledesma, M. (2018). Comparison between coagulation–flocculation and ozone–flotation for *Scenedesmus* microalgal biomolecule recovery and nutrient removal from wastewater in a high-rate algal pond. *Bioresource Technology*, 259, 334–342. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.072>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4.ª ed.). OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
- Quevedo, C., Morales, S., & Acosta, A. (2008). *Crecimiento de Scenedesmus sp. en diferentes medios de cultivo para la producción de proteína microalgal*.

- Roa, A., & Cañizares, R. (2012). *Biorremediación de aguas con fosfatos y nitratos utilizando Scenedesmus incrassatulus inmovilizado*.
- Romero, J. (2017). *Tratamiento de aguas residuales*. Scribd.
- Rosso, D., Stenstrom, M. K., & Larson, L. E. (2008). Aeration of large-scale municipal wastewater treatment plants: State of the art. *Water Science and Technology*, 57(7), 973–978. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.218>
- Sánchez, A. (2016). *Evaluación del crecimiento y capacidad fitorremediadora de la microalga Scenedesmus sp. cultivada en las aguas residuales de la Universidad Nacional de Ucayali* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Ucayali.
- Santos, A., González, Y., & Martín, C. (2014). *Uso y aplicaciones potenciales de las microalgas*.
- Trépanier, C., Parent, S., Comeau, Y., & Bouvrette, J. (2002). Phosphorus budget as a water quality management tool for closed aquatic mesocosms. *Water Research*, 36(4), 1007–1017. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00286-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00286-X)
- Vargas, R. (2020). *Tesis para obtener el título profesional de ingeniera ambiental* [Tesis de licenciatura].
- United Nations Water. (2017). *The United Nations world water development report*. UN-Water. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report>