



The Biologist (Lima)



ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

ORGANIC MATTER SEDIMENTABLE WITHOUT DISCHARGE OF AFFLUENTS IN THE PARCONA LAGOON, ICA-PERU

MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTABLE SIN DESCARGA DE AFLUENTES EN LA LAGUNA DE PARCONA, ICA-PERÚ

Rene Anselmo De la Torre-Castro^{1*}, Félix Ricardo Belli-Carhuayo¹,
José Antonio Carrasco-González¹ & George Argota-Pérez²

¹ Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Ica, Perú. rene.delatorre@unica.edu.pe; felix.belli@unica.edu.pe; jose.carrasco@unica.edu.pe

² Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI". Ica, Perú. george.argota@gmail.com

* Corresponding author: rene.delatorre@unica.edu.pe

Rene Anselmo De la Torre-Castro:  <https://orcid.org/0000-0001-7658-6851>

Félix Ricardo Belli-Carhuayo:  <https://orcid.org/0000-0003-2560-6749>

José Antonio Carrasco-González:  <https://orcid.org/0000-0002-7938-7951>

George Argota-Pérez:  <https://orcid.org/0000-0003-2560-6749>

ABSTRACT

In the oxidation ponds, there is an alarming accumulation of sedimentable organic matter, despite the absence of direct tributaries. Although the presence of potentially contaminating elements is suspected, their origin and repercussions still require clarification. It is necessary to determine the organic matter to assess the value of sedimentation in this context. The study aimed to evaluate the concentration of sedimentable organic matter without effluent discharge in the Parcona Lagoon, Ica-Peru. The Walkley-Black method was used to determine the organic matter in the sediments. After preparing the sample with specific reagents, absorbance at 590 nm was measured using a DR-5000 UV-vis spectrophotometer, with reference standards for calibration. A concentration was found at the five sampling points of 3.87; 4.13; 2.96; 3.44; and 2.21 mg/kg, respectively. The concentration of organic matter was considered medium to very high (1.6-3.5 / 3.6-6.0), according to the Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT-2000. The high percentage of sedimentable organic matter, without effluents, indicates a significant accumulation of material in the environment. This suggests internal processes related to plant decomposition, organic residues, or biological activity, highlighting the need for proper study and management.

Keywords: aerobic decomposition – facultative digestion – organic composition – oxidation pond – sedimentation

Este artículo es publicado por la revista *The Biologist (Lima)* de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

DOI: <https://doi.org/10.62430/rtb20242211747>



RESUMEN

En las lagunas de oxidación, se constata una inquietante acumulación de materia orgánica sedimentable, pese a la carencia de afluentes directos. Aunque se sospecha la presencia de elementos potencialmente contaminantes, su origen y repercusión aún requieren esclarecimiento. Resulta necesario determinar la materia orgánica para evaluar el valor de uso de la sedimentación en este contexto. El objetivo del estudio fue evaluar la concentración de la materia orgánica sedimentable sin descarga de efluentes en la laguna de Parcona, Ica-Perú. Se empleó el método de Walkley-Black para determinar la materia orgánica en los sedimentos. Tras preparar la muestra con reactivos específicos, se midió la absorbancia a 590 nm con un espectrofotómetro DR-5000 UV-vis, utilizando estándares de referencia para calibrar. Se halló una concentración en los cinco puntos de muestreo de 3,87; 4,13; 2,96; 3,44 y 2,21 mg/Kg, respectivamente. La concentración de la materia orgánica se consideró como media a muy alta (1,6-3,5 / 3,6-6,0), según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. El alto porcentaje de materia orgánica sedimentable, sin efluentes, evidencia acumulación significativa de material en el entorno. Esto sugiere procesos internos relacionados con descomposición vegetal, residuos orgánicos o actividad biológica, destacando la necesidad de estudiar y gestionar adecuadamente.

Palabras clave: composición orgánica – descomposición aerobia – digestión facultativa – laguna de oxidación – sedimentación

INTRODUCCIÓN

Las lagunas de oxidación son ampliamente reconocidas por su papel fundamental en la transformación de la materia orgánica sedimentable, siendo una práctica común en áreas urbanas (Huber *et al.*, 2016). Si bien su eficacia en la mitigación de contaminantes es bien conocida como son los procesos de oxidación, sedimentación, filtración, entre otros (Ivanovsky *et al.*, 2018), su verdadero valor radica en su capacidad para tratar y transformar la materia orgánica que se acumula en el fondo de estas lagunas.

Este proceso de transformación es esencial para mejorar la calidad del agua y abordar la creciente necesidad de reutilización de aguas contaminadas, cumpliendo así con las exigencias ambientales y sociales en un contexto de aumento poblacional global (Zhu *et al.*, 2022). Desde la perspectiva de Adhikari & Fedler (2019), estas lagunas no solo representan una solución técnica, sino también una oportunidad para promover cambios sistémicos en la gestión del agua a largo plazo. Esta visión destaca la importancia de considerar no solo los aspectos técnicos, sino también los socioeconómicos y ambientales en la planificación y ejecución de sistemas de tratamiento de aguas urbanas.

Se ha observado una significativa acumulación de materia orgánica sedimentable en las lagunas de oxidación. Es esencial investigar su composición para comprender su

papel en el proceso de sedimentación. Esta acumulación plantea interrogantes sobre la eficacia del tratamiento, resaltando la necesidad de una investigación exhaustiva para identificar sus causas subyacentes (Morrissey, 2018).

La evaluación del contenido de materia orgánica en las lagunas de oxidación es esencial para comprender su eficacia en los procesos de sedimentación. Este análisis no solo indica la calidad del agua y la eficiencia del tratamiento, sino que también influye en diversos procesos biológicos, químicos y físicos en los ecosistemas acuáticos. Por lo tanto, es imperativo discernir la composición y concentración de materia orgánica en las muestras de sedimentos para optimizar las estrategias de tratamiento y salvaguardar la integridad ambiental (Adem *et al.*, 2020).

Fuenfschilling & Truffer (2014) resaltan que comprender la dinámica de la materia orgánica en las lagunas de oxidación no solo contribuye a una gestión urbana más sostenible del agua, sino que también promueve cambios sistémicos en el control eficiente del agua a largo plazo. Esto implica la necesidad de implementar prácticas alternativas que puedan favorecer una gestión más eficaz y sostenible de los recursos hídricos en entornos urbanos. Además, según Ghosh *et al.* (2021), dicho enfoque permite una mayor consideración de las implicaciones socioeconómicas y ambientales, fomentando así una planificación más holística y sostenible de los sistemas de tratamiento del agua.

La presencia de materia orgánica sedimentable sin afluentes claros indica posible acumulación de contaminantes. Esto cuestiona la eficacia del tratamiento, sugiriendo deficiencias en la calidad de los efluentes (Humanante *et al.*, 2022). Por tan razón, se requiere una descripción detallada del contenido de la materia orgánica sedimentable y la formulación de estrategias efectivas de gestión ambiental para abordar el problema en la Laguna de Parcona.

El objetivo del estudio fue evaluar la concentración de la materia orgánica sedimentable sin descarga de efluentes en la laguna de Parcona, Ica-Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre enero y marzo del 2024. Se propuso un diseño de investigación de tipo descriptivo, con un enfoque transversal. Este diseño permitió obtener una visión amplia y detallada de la materia orgánica sedimentable en un momento específico para la laguna de oxidación de Parcona, Ica, Perú. El diseño metodológico a la estructura específica de la laguna de oxidación, se dividió en cinco franjas paralelas.

Cada una de estas franjas se subdividió en tres puntos de muestreo, generando así un total de quince puntos de muestreo en toda la laguna de Parcona. Esta distribución estratégica asegura una cobertura representativa de las diferentes áreas y condiciones de la laguna, permitiendo asegurar, la variabilidad espacial de la materia orgánica sedimentable.

Se consideró una muestra compuesta en cada una de las franjas de muestreo. Esto implicó que se recolectarán cinco muestras individuales en cada punto y se combinarán en una única muestra compuesta representativa. Esta técnica aumenta la representatividad de la muestra al considerar la heterogeneidad del sedimento en cada ubicación de muestreo.

Una vez obtenidas las muestras compuestas, se procedió a la determinación de la materia orgánica utilizando el método de Walkley-Black (1934). Este método se basa en la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra a través de un reactivo específico. La cantidad de materia orgánica se calculó mediante la cantidad de reactivo consumido durante la oxidación. Posteriormente, se midió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 590 nm utilizando un espectrofotómetro DR-5000 UV-vis. Esta medida permitió cuantificar la cantidad

de materia orgánica presente en las muestras mediante la generación de una curva de calibración previamente establecida con estándares de referencia conocidos. Las muestras se analizaron en un Laboratorio Acreditado.

Se utilizó el programa estadístico Statgraphics v18. Se comparó los resultados con lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT (2000). Para el análisis de las diferencias entre las concentraciones de la materia orgánica en las franjas de muestreo se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados se consideraron significativos a un nivel de confianza del 95%.

Aspectos éticos: El parafraseo de la información científica fue una decisión fundamental para garantizar la integridad y la transparencia del estudio. Esta estrategia permitió comunicar los resultados de manera precisa y comprensible, sin incurrir en la manipulación de los datos para ajustarlos a los objetivos preestablecidos. Se evitó cualquier distorsión de los hallazgos originales, asegurando la fidelidad a los datos recopilados durante la investigación. Esta práctica reflejó el compromiso con la honestidad intelectual y la ética científica, al tiempo que facilitó la verificación y reproducción de los resultados, por parte, de otros investigadores.

RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los resultados del muestreo de materia orgánica en diversos puntos de la laguna de oxidación de Parcona. La primera columna enumera los puntos de muestreo del 1 al 5. La segunda columna exhibe los valores de materia orgánica, expresados en porcentaje y diferenciados por letras superíndices (a, b, c, d, e), indicando diferencias significativas entre ellos. En la parte inferior, se proporcionan categorías para interpretar los niveles de materia orgánica, clasificándolos como muy baja (<0,5%), baja (0,6-1,5%), media (1,6-3,5%), alta (3,6-6,0%) y muy alta (>6,0%). Según los resultados, el punto de muestreo 2 registró el mayor contenido de materia orgánica (4,13%), considerado como alto. Por otro lado, el punto de muestreo 5 presentó el menor contenido (2,21%), situado en el rango medio.

Tabla 1. Porcentaje de materia orgánica sedimentable sin efluentes en la laguna de oxidación de Parcona, Ica, Perú. Letras diferentes señalan diferencias entre los promedios.

Punto de muestreo	Materia orgánica	
1	3,87 ^a	
2	4,13 ^b	
3	2,96 ^c	
4	3,44 ^d	
5	2,21 ^e	
Referencia*	Muy baja	< 0,5
	Baja	0,6-1,5
	Media	1,6-3,5
	Alta	3,6-6,0
	Muy alta	> 6,0

La detección de una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de materia orgánica en los cinco puntos de muestreo, respaldada por un nivel de confianza del 95%, sugiere variaciones importantes en los niveles de contaminación orgánica en la laguna de oxidación. Esta disparidad en las concentraciones se debió a la influencia de descarga en los afluentes. La heterogeneidad evidenciada por la prueba de Tukey HSD indicó que no todas las áreas de muestreo presentaron niveles similares de materia orgánica, lo que destacó la complejidad y la variabilidad del entorno estudiado.

DISCUSIÓN

Los resultados del muestreo de materia orgánica en la zona de estudio ofrecen una visión detallada de la distribución y concentración de este componente crucial en los sedimentos. Entre diferentes puntos de muestreo, se revelaron variaciones significativas en los contenidos de materia orgánica. Estas discrepancias sugieren una heterogeneidad en las condiciones ambientales locales y en los procesos biogeoquímicos que influyen en la acumulación de materia orgánica sedimentable. Este hallazgo resaltó la importancia de considerar múltiples factores al evaluar la calidad ambiental y subraya la necesidad de implementar estrategias de gestión específicas para la laguna de oxidación de Parcona (Córdova *et al.*, 2021). Asimismo, se sugiere la relevancia de realizar un monitoreo continuo para comprender mejor las dinámicas de contaminación y tomar medidas preventivas o correctivas apropiadas en función de las necesidades específicas de cada zona dentro del área de estudio (Belli *et al.*, 2023).

Una de las observaciones más destacadas es la presencia de letras superíndices distintas junto con los valores numéricos en la segunda columna de la tabla. Esta diferenciación indicó que los contenidos de materia orgánica variaron considerablemente entre los puntos de muestreo, lo que pudo atribuirse a factores ambientales específicos o diferencias en la actividad biológica. Por ejemplo, la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en ciertos puntos podría relacionarse con la descomposición de material vegetal circundante, la deposición de desechos orgánicos o la actividad microbiológica intensa en esas áreas (Pasco, 2023).

El punto de muestreo 2 se destacó por registrar el contenido más alto de materia orgánica, alcanzando un valor por el 4,13%. Este nivel se clasifica como alto según las categorías establecidas, lo que sugiere una concentración significativa de materia orgánica en ese punto específico. La interpretación de este hallazgo podría implicar la influencia de procesos como la acumulación de desechos orgánicos o la descomposición de material vegetal en el área circundante.

Por otro lado, el punto de muestreo 5 exhibe el contenido más bajo de materia orgánica, con un valor por el 2,21%, ubicándose en el rango medio de la clasificación. Esta observación podría indicar una menor entrada de materia orgánica en ese punto en particular, lo que sugiere una variabilidad espacial en la distribución de los recursos orgánicos en el entorno estudiado. La presencia de un contenido relativamente bajo de materia orgánica en este punto podría estar relacionada con una menor actividad biológica o una menor deposición de materia orgánica en comparación con otros puntos de muestreo (Romero & Castillo, 2018).

Al interpretar estos resultados, es importante considerar la relevancia de la materia orgánica sedimentable en la salud y la calidad de la laguna de oxidación de Parcona. La presencia de altos niveles de materia orgánica puede influir en la calidad del agua y en la biodiversidad del ecosistema, ya que puede afectar la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, así como promover el crecimiento de organismos no deseados como algas y bacterias. Además, la acumulación excesiva de materia orgánica puede llevar a la eutrofización y al deterioro de la calidad del agua, lo que a su vez puede tener efectos negativos en la fauna y flora acuáticas (Argota *et al.*, 2016).

La liberación directa de aguas residuales domésticas sin tratamiento o después de un tratamiento inadecuado es la principal fuente de contaminación no puntual por nutrientes que contribuye con más del 50% de la carga total de nutrientes no puntuales al ecosistema acuático en los países en desarrollo (Lee *et al.*, 2020). Por lo tanto, es una cuestión apremiante limitar los problemas de contaminación ambiental causados por la descarga de nutrientes a los cuerpos de agua, en particular a las aguas superficiales, lo que parece ser una tarea importante y desafiante para los investigadores actuales (Luo *et al.*, 2021).

Una vez que los efluentes son descargados en las lagunas de oxidación, los sólidos suspendidos presentes en el agua tienden a sedimentar debido a la acción de la gravedad. Esta sedimentación conlleva a la deposición de materia orgánica y otros nutrientes, como el nitrógeno y fósforo, en el fondo de las lagunas de oxidación. Estos sedimentos pueden servir como una valiosa fuente de macronutrientes. A medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica depositada, liberan nutrientes que pueden ser utilizados por las plantas acuáticas y otros organismos para su crecimiento y desarrollo. Esta interpretación resalta cómo los efluentes, una vez sedimentados en los cuerpos de agua, pueden contribuir al enriquecimiento de nutrientes, creando un ciclo continuo de sustento para la vida (Bharathiraja *et al.*, 2019).

La presencia de materia orgánica sedimentable en los efluentes representa una fuente valiosa de nutrientes esenciales para los ecosistemas acuáticos. Entre estos nutrientes, el nitrógeno, el fósforo y el carbono son particularmente cruciales para la vida y el funcionamiento de los organismos acuáticos. El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas y otros compuestos biológicos, y los microorganismos descomponedores desempeñan un papel vital al mineralizar las formas de nitrógeno presentes en los sedimentos, lo que facilita su utilización por parte de las plantas acuáticas y otros organismos (Głazowska

et al., 2019; Mohanty *et al.*, 2021). Del mismo modo, el fósforo presente en los sedimentos es esencial para la formación de ácidos nucleicos y la producción de energía celular, lo que influye significativamente en la productividad biológica del ecosistema acuático (Khanal *et al.*, 2020). Además, el carbono contenido en la materia orgánica sedimentable actúa como una fuente de energía clave para los microorganismos, impulsando los procesos de descomposición y ciclado de nutrientes en el ecosistema. Es importante destacar que, junto con estos nutrientes principales, los sedimentos también pueden contener una variedad de compuestos orgánicos y elementos traza que son esenciales para mantener la salud y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos, como vitaminas, aminoácidos y minerales. Estudios recientes (Mishra *et al.*, 2020) respaldan la importancia de estos procesos en la dinámica y la sostenibilidad de las lagunas de oxidación. En conjunto, estos hallazgos resaltan la relevancia de comprender y gestionar adecuadamente la materia orgánica sedimentable en los efluentes para mantener la funcionalidad de las lagunas de oxidación.

La recuperación de nutrientes de los flujos de residuos al ser esencial para el tratamiento sostenible de las aguas residuales, porque evita el agotamiento de los recursos finitos, entonces se logra la bioeconomía circular. Las ideas sencillas de la bioeconomía circular son reducir, reutilizar y reciclar (Feng *et al.*, 2021). La recuperación de nutrientes reciclables de fuentes diversificadas de aguas residuales podría desempeñar un papel importante para satisfacer las crecientes demandas mediadas por la explosión demográfica. Por lo tanto, los nutrientes enriquecidos en las aguas residuales pueden recuperarse y reutilizarse desde una perspectiva de bioeconomía circular (Nagarajan *et al.*, 2020).

Entre las limitaciones del estudio se indica la falta de análisis temporal. Dado que la investigación se centró en la recolección de muestras de sedimentos en puntos específicos en un momento dado, no se pudo capturar la variabilidad temporal en los niveles de materia orgánica. Los procesos naturales y antropogénicos pueden influir en la acumulación y composición de la materia orgánica sedimentable a lo largo del tiempo, lo que podría afectar la interpretación de los resultados (Lopez & Tooth, 2022). Por lo tanto, la ausencia de datos temporales limita nuestra comprensión completa de la dinámica de la materia orgánica en el ecosistema acuático estudiado. Sería beneficioso para futuras investigaciones incorporar un análisis longitudinal para evaluar cómo los niveles de materia orgánica cambian en respuesta a las variaciones estacionales y a las actividades humanas en la zona de estudio.

Se concluye que, los niveles de materia orgánica sedimentable en la laguna de oxidación de Parcona, proporcionan información valiosa sobre la distribución de contaminantes orgánicos en este ecosistema acuático. El análisis detallado de estos niveles reveló variaciones significativas entre los diferentes puntos de muestreo, destacando concentraciones más altas en los dos primeros puntos. Este patrón sugiere una posible acumulación de materia orgánica en estas áreas, lo que plantea preocupaciones sobre una contaminación potencial en la laguna. La alta concentración de materia orgánica puede ser indicativa de la presencia de desechos orgánicos, como residuos industriales o aguas residuales no tratadas, que pueden contribuir a la degradación de la calidad del agua que supone tratarse. Estos hallazgos resaltan la importancia de monitorear los niveles de materia orgánica sedimentable en la laguna de oxidación de Parcona y tomar medidas adecuadas para mitigar cualquier impacto adverso por uso de los efluentes. Además, estos datos pueden ser utilizados para desarrollar estrategias de gestión y políticas ambientales que promuevan la conservación y restauración de esta fuente de tratamiento urbano.

Author contribution: CRediT (*Contributor Roles Taxonomy*)

RADC = Rene Anselmo De la Torre-Castro

FRBC = Félix Ricardo Belli-Carhuayo

JACG = José Antonio Carrasco-González

GAP = George Argota-Pérez

Conceptualization: RADC, FRBC, JACG, GAP

Data curation: RADC, FRBC, GAP

Formal Analysis: GAP

Funding acquisition: RADC, FRBC, JACG

Investigation: RADC, FRBC, JACG

Methodology: RADC, FRBC, JACG, GAP

Project administration: RADC, FRBC, JACG

Resources: RADC, FRBC, JACG

Software: GAP

Supervision: RADC, FRBC, JACG

Validation: RADC, FRBC, JACG

Visualization: RADC, FRBC, JACG

Writing – original draft: GAP

Writing – review & editing: GAP

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adem, E.B., & Suleiman, L. (2020). Analyzing evidence of sustainable urban water management systems: a review through the lenses of sociotechnical transitions. *Sustainability*, *12*, 1-45.
- Adhikari, K., & Fedler, C. (2019). Water sustainability using pond-in-pond wastewater treatment system: case studies. *Journal of Water Process Engineering*, *36*, 1-10.
- Argota, P.G., Argota, C.H., & Iannacone, J. (2016). Costo ambiental sostenible relativo a la variabilidad físico-química de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba, Cuba. *The Biologist (Lima)*, *14*, 219-232.
- Belli, C.F.R., Argota, P.G., & Iannacone, J. (2023). Coeficiente de biodegradabilidad en las lagunas de oxidación Angostura-Limón y Yaurilla, Ica-Perú. *Biotempo*, *19*, 265-268.
- Bharathiraja, B., Ebenezer, S.I.A., Iyyappan, J., & Varjani, S. (2019). Itaconic acid: an effective sorbent for removal of pollutants from dye industry effluents. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *12*, 6-17.
- Córdova, M.P., Barrios, M.T., Córdova, B.I.C., & Navarrete, V.R.A. (2021). Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, *5*, 237-249.
- Feng, S., Hao, N.H., Guo, W., Woong, C.S., Duc, N.D., Cheng, D., Varjani, S., Lei, Z., & Liu, Y. (2021). Roles and applications of enzymes for resistant pollutants removal in wastewater treatment. *Biore-source Technology*, *335*, 125278.
- Fuenfschilling, L., & Truffer, B. (2014). The structuration of socio-technical regimes - conceptual foundations from institutional theory. *Research Policy*, *43*, 772-791.
- Ghosh, B., Kivimaa, P., Ramirez, M., Schot, J., & Torrens, J. (2021). Transformative outcomes: assessing and reorienting experimentation with transformative innovation policy. *Science and Public Policy*, *48*, 739-756.
- Głazowska, S., Baldwin, L., Mravec, J., Bukh, C., Fangel, J.U., Willats, W.G., & Schjoerring, J.K. (2019). The source of inorganic nitrogen has distinct effects on cell wall composition in *Brachypodium*

- distachyon*. *The Journal of Experimental Botany*, 70, 6461-6473.
- Huber, M., Welker, A., & Helmreich, B. (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of the Total Environment*, 541, 895-919.
- Humanante, C.J.J., Moreno, A.L.C., Grijalva, E.A., Saldoya, T.R.W., & Suárez, T.J.A. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19, 177-187.
- Ivanovsky, A., Belles, A., Criquet, J., Dumoulin, D., Noble, P., Alary, C., & Billon, G. (2018). Assessment of the treatment efficiency of an urban stormwater pond and its impact on the natural downstream watercourse. *Journal of Environmental Management*, 226, 120-130.
- Khanal, S.K., Varjani, S., Lin, C.S.K., & Awasthi, M.K. (2020). Waste-to-resources: opportunities and challenges. *Bioresource Technology*, 317, 123987.
- Lee, E., Ranjan, R.P., Kyun, Y., & Bae, J. (2020). Process optimization and energy analysis of vacuum degasifier systems for the simultaneous removal of dissolved methane and hydrogen sulfide from anaerobically treated wastewater. *Water Research*, 182, 115965.
- Lopez, B.J.C.J., & Tooth, F.F.M. (2022). Remoción de demanda química de oxígeno de aguas residuales empleando carbón activado en la laguna de oxidación, Nuevo Chimbote-2022. *Tesis para optar por el título profesional de ingeniero civil* [Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad César Vallejo]. Lima, Perú.
- Luo, L., Kaur, G., Zhao, J., Zhou, J., Xu, S., Varjani, S., & Wong, J.W.C. (2021). Optimization of water replacement during leachate recirculation for two-phase food waste anaerobic digestion system with off-gas diversion. *Bioresource Technology*, 335, 125234.
- Mishra, B., Varjani, S., Chand, A.D., Kumar, M.S., Hao, N.H., Mohammad J.T., Jo, S.C., You, S., & Guo, W. (2020). Engineering biocatalytic material for the remediation of pollutants: A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101063.
- Mohanty, A., Rout, P.R., Dubey, B., Meena, S.S., Pal, P., & Goel, M. (2021). A critical review on biogas production from edible and non-edible oil cakes. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 1st Edition, pp. 1-18.
- Morrissey, A. (2018). Treatment and recycling of domestic and industrial wastewater. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 1, 908-918.
- Nagarajan, D., Jong, L.D., Yen, C.C., & Shu, C.J. (2020). Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective. *Bioresource Technology*, 302, 122817.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT. (2000). *Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. 2da sección, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Pasco, M.M.M. (2023). Comportamiento hidráulico en la remoción de materia orgánica de aguas residuales en una zanja de oxidación anóxica Tuyu Ruri Ancash, 2023. *Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero sanitario* [Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Huaraz, Perú.
- Romero, L.T.J., & Castillo, T.Y. (2018). Actualización del estado de las lagunas de estabilización de la provincia Mayabeque. *Ingeniería, Hidráulica y Ambiental*, 39, 72-85.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Zhu, W., Wang, S., Luo, P., Zha, X., Cao, Z., Lyu, J., Zhou, M., He, B., & Nover, D. (2022). A quantitative analysis of the influence of temperature change on the extreme precipitation. *Atmosphere*, 13, 1-15.

Received March 24, 2024.

Accepted April 8, 2024.