

1 The Biologist (Lima), 2023, vol. 22 (1), XX-XX.

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

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



8 ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

9  
10 Organic matter sedimentable without discharge of affluents in the Parcona lagoon, Ica-Peru

11  
12 Materia orgánica sedimentable sin descarga de afluentes en la laguna de Parcona, Ica-Perú

13  
14 Rene Anselmo De la Torre-Castro<sup>1\*</sup>, Félix Ricardo Belli-Carhuayo<sup>1</sup>,

15 José Antonio Carrasco-González<sup>1</sup> & George Argota-Pérez<sup>2</sup>

16  
17 <sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”. Ica,  
18 Perú. [rene.delatorre@unica.edu.pe](mailto:rene.delatorre@unica.edu.pe); [felix.belli@unica.edu.pe](mailto:felix.belli@unica.edu.pe); [jose.carrasco@unica.edu.pe](mailto:jose.carrasco@unica.edu.pe)

19 <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio  
20 Ambiente “AMTAWI”. Ica, Perú. [george.argota@gmail.com](mailto:george.argota@gmail.com)

21  
22 \*Corresponding author: [rene.delatorre@unica.edu.pe](mailto:rene.delatorre@unica.edu.pe)

23 Titulillo: Organic matter sedimentable

24  
25 Rene Anselmo De la Torre-Castro:  <https://orcid.org/0000-0001-7658-6851>

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

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

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

29  
30 **ABSTRACT**

31 In the oxidation ponds, there is an alarming accumulation of sedimentable organic matter, despite  
32 the absence of direct tributaries. Although the presence of potentially contaminating elements is  
33 suspected, their origin and repercussions still require clarification. It is necessary to determine the  
34 organic matter to assess the value of sedimentation in this context. The aim of the study was to  
35 evaluate the concentration of sedimentable organic matter without effluent discharge in the Parcona  
36 Lagoon, Ica-Peru. The Walkley-Black method was used to determine the organic matter in the  
37 sediments. After preparing the sample with specific reagents, absorbance at 590 nm was measured  
38 using a DR-5000 UV-vis spectrophotometer, with reference standards for calibration. A  
39 concentration was found at the five sampling points of 3.87; 4.13; 2.96; 3.44; and 2.21 mg/kg,  
40 respectively. The concentration of organic matter was considered as medium to very high (1.6-3.5  
41 / 3.6-6.0), according to the Official Mexican Standard NOM-021-RECNAT-2000. The high  
42 percentage of sedimentable organic matter, without effluents, indicates a significant accumulation  
43 of material in the environment. This suggests internal processes related to plant decomposition,  
44 organic residues, or biological activity, highlighting the need for proper study and management.

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

#### 48 **RESUMEN**

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

62 internos relacionados con descomposición vegetal, residuos orgánicos o actividad biológica,  
63 destacando la necesidad de estudiar y gestionar adecuadamente.

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

66

## 67 **INTRODUCCIÓN**

68 Las lagunas de oxidación son ampliamente reconocidas por su papel fundamental en la  
69 transformación de la materia orgánica sedimentable, siendo una práctica común en áreas urbanas  
70 (Huber *et al.*, 2016). Si bien su eficacia en la mitigación de contaminantes es bien conocida,  
71 incluyendo procesos como oxidación, sedimentación, filtración, entre otros (Ivanovsky *et al.*,  
72 2018), su verdadero valor radica en su capacidad para tratar y transformar la materia orgánica que  
73 se acumula en el fondo de estas lagunas.

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

82 Se ha observado una significativa acumulación de materia orgánica sedimentable en las lagunas de  
83 oxidación. Es esencial investigar su composición para comprender su papel en el proceso de  
84 sedimentación. Esta acumulación plantea interrogantes sobre la eficacia del tratamiento, resaltando  
85 la necesidad de una investigación exhaustiva para identificar sus causas subyacentes (Morrissey,  
86 2018).

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

93 Fuenfschilling & Truffer (2014) resaltan que comprender la dinámica de la materia orgánica en las  
94 lagunas de oxidación no solo contribuye a una gestión urbana más sostenible del agua, sino que  
95 también promueve cambios sistémicos en el control eficiente del agua a largo plazo. Esto implica  
96 la necesidad de implementar prácticas alternativas que puedan favorecer una gestión más eficaz y  
97 sostenible de los recursos hídricos en entornos urbanos. Además, según Ghosh *et al.* (2021), dicho  
98 enfoque permite una mayor consideración de las implicaciones socioeconómicas y ambientales,  
99 fomentando así una planificación más holística y sostenible de los sistemas de tratamiento del agua.  
100 La presencia de materia orgánica sedimentable sin afluentes claros indica posible acumulación de  
101 contaminantes. Esto cuestiona la eficacia del tratamiento, sugiriendo deficiencias en la calidad de  
102 los efluentes (Humanante *et al.*, 2022). Por tan razón, se requiere una descripción detallada del  
103 contenido de la materia orgánica sedimentable y la formulación de estrategias efectivas de gestión  
104 ambiental para abordar el problema en la Laguna de Parcona.  
105 El objetivo del estudio fue evaluar la concentración de la materia orgánica sedimentable sin  
106 descarga de efluentes en la laguna de Parcona, Ica-Perú.

107

## 108 **MATERIALES Y MÉTODOS**

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

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

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

122 Una vez obtenidas las muestras compuestas, se procedió a la determinación de la materia orgánica  
123 utilizando el método de Walkley-Black (1934). Este método se basa en la oxidación de la materia

124 orgánica presente en la muestra a través de un reactivo específico. La cantidad de materia orgánica  
125 se calculó mediante la cantidad de reactivo consumido durante la oxidación. Posteriormente, se  
126 midió la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 590 nm utilizando un  
127 espectrofotómetro DR-5000 UV-vis. Esta medida permitió cuantificar la cantidad de materia  
128 orgánica presente en las muestras mediante la generación de una curva de calibración previamente  
129 establecida con estándares de referencia conocidos. Las muestras se analizaron en un Laboratorio  
130 Acreditado.

131 Se utilizó el programa estadístico Statgraphics v18. Se comparó los resultados con lo establecido  
132 por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Para el análisis de las diferencias entre  
133 las concentraciones de la materia orgánica en las franjas de muestreo se realizó un análisis de  
134 varianza (ANOVA). Los resultados se consideraron significativos a un nivel de confianza del 95%.  
135 **Aspectos éticos:** El parafraseo de la información científica fue una decisión fundamental para  
136 garantizar la integridad y la transparencia del estudio. Esta estrategia permitió comunicar los  
137 resultados de manera precisa y comprensible, sin incurrir en la manipulación de los datos para  
138 ajustarlos a los objetivos preestablecidos. Se evitó cualquier distorsión de los hallazgos originales,  
139 asegurando la fidelidad a los datos recopilados durante la investigación. Esta práctica reflejó el  
140 compromiso con la honestidad intelectual y la ética científica, al tiempo que facilitó la verificación  
141 y reproducción de los resultados, por parte, de otros investigadores.

142

## 143 **RESULTADOS**

144 La Tabla 1 presenta los resultados del muestreo de materia orgánica en diversos puntos de la laguna  
145 de oxidación de Parcona. La primera columna enumera los puntos de muestreo del 1 al 5. La  
146 segunda columna exhibe los valores de materia orgánica, expresados en porcentaje y diferenciados  
147 por letras superíndices (a, b, c, d, e), indicando diferencias significativas entre ellos. En la parte  
148 inferior, se proporcionan categorías para interpretar los niveles de materia orgánica, clasificándolos  
149 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%).  
150 Según los resultados, el punto de muestreo 2 registró el mayor contenido de materia orgánica  
151 (4,13%), considerado alto. Por otro lado, el punto de muestreo 5 presentó el menor contenido  
152 (2,21%), situado en el rango medio.

153 **Tabla 1.** Porcentaje de materia orgánica sedimentable sin efluentes en la laguna de oxidación de  
154 Parcona, Ica, Perú.

155

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

156  
157 La detección de una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de materia  
158 orgánica en los cinco puntos de muestreo, respaldada por un nivel de confianza del 95%, sugiere  
159 variaciones importantes en los niveles de contaminación orgánica en la laguna de oxidación. Esta  
160 disparidad en las concentraciones se debió a la influencia de descarga en los afluentes. La  
161 heterogeneidad evidenciada por la prueba de Tukey HSD indicó que no todas las áreas de muestreo  
162 presentaron niveles similares de materia orgánica, lo que destacó la complejidad y la variabilidad  
163 del entorno estudiado.

164  
165 **DISCUSIÓN**

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

177 Una de las observaciones más destacadas es la presencia de letras superíndices distintas junto con  
178 los valores numéricos en la segunda columna de la tabla. Esta diferenciación indicó que los

179 contenidos de materia orgánica variaron considerablemente entre los puntos de muestreo, lo que  
180 pudo atribuirse a factores ambientales específicos o diferencias en la actividad biológica. Por  
181 ejemplo, la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en ciertos puntos podría  
182 relacionarse con la descomposición de material vegetal circundante, la deposición de desechos  
183 orgánicos o la actividad microbiológica intensa en esas áreas (Pasco, 2023).

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

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

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

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

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

219 La presencia de materia orgánica sedimentable en los efluentes representa una fuente valiosa de  
220 nutrientes esenciales para los ecosistemas acuáticos. Entre estos nutrientes, el nitrógeno, el fósforo  
221 y el carbono son particularmente cruciales para la vida y el funcionamiento de los organismos  
222 acuáticos. El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas y otros compuestos biológicos, y  
223 los microorganismos descomponedores desempeñan un papel vital al mineralizar las formas de  
224 nitrógeno presentes en los sedimentos, lo que facilita su utilización por parte de las plantas  
225 acuáticas y otros organismos (Głazowska *et al.*, 2019; Mohanty *et al.*, 2021). Del mismo modo, el  
226 fósforo presente en los sedimentos es esencial para la formación de ácidos nucleicos y la  
227 producción de energía celular, lo que influye significativamente en la productividad biológica del  
228 ecosistema acuático (Khanal *et al.*, 2020). Además, el carbono contenido en la materia orgánica  
229 sedimentable actúa como una fuente de energía clave para los microorganismos, impulsando los  
230 procesos de descomposición y ciclado de nutrientes en el ecosistema. Es importante destacar que,  
231 junto con estos nutrientes principales, los sedimentos también pueden contener una variedad de  
232 compuestos orgánicos y elementos traza que son esenciales para mantener la salud y el equilibrio  
233 de los ecosistemas acuáticos, como vitaminas, aminoácidos y minerales. Estudios recientes (Mishra  
234 *et al.*, 2020) respaldan la importancia de estos procesos en la dinámica y la sostenibilidad de las  
235 lagunas de oxidación. En conjunto, estos hallazgos resaltan la relevancia de comprender y gestionar  
236 adecuadamente la materia orgánica sedimentable en los efluentes para mantener la funcionalidad  
237 de las lagunas de oxidación.

238 La recuperación de nutrientes de los flujos de residuos al ser esencial para el tratamiento sostenible  
239 de las aguas residuales, porque evita el agotamiento de los recursos finitos, entonces se logra la  
240 bioeconomía circular. Las ideas sencillas de la bioeconomía circular son reducir, reutilizar y



241 reciclar (Feng *et al.*, 2021). La recuperación de nutrientes reciclables de fuentes diversificadas de  
242 aguas residuales podría desempeñar un papel importante para satisfacer las crecientes demandas  
243 mediadas por la explosión demográfica. Por lo tanto, los nutrientes enriquecidos en las aguas  
244 residuales pueden recuperarse y reutilizarse desde una perspectiva de bioeconomía circular  
245 (Nagarajan *et al.*, 2020).

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

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

269 **Author contribution:** CRediT (*Contributor Roles Taxonomy*)

270

271 **RADC** = Rene Anselmo De la Torre-Castro

272 **FRBC** = Félix Ricardo Belli-Carhuayo  
273 **JACG** = José Antonio Carrasco-González  
274 **GAP** = George Argota-Pérez  
275

276 **Conceptualization:** RADC, FRBC, JACG, GAP

277 **Data curation:** RADC, FRBC, GAP

278 **Formal Analysis:** GAP

279 **Funding acquisition:** RADC, FRBC, JACG

280 **Investigation:** RADC, FRBC, JACG

281 **Methodology:** RADC, FRBC, JACG, GAP

282 **Project administration:** RADC, FRBC, JACG

283 **Resources:** RADC, FRBC, JACG

284 **Software:** GAP

285 **Supervision:** RADC, FRBC, JACG

286 **Validation:** RADC, FRBC, JACG

287 **Visualization:** RADC, FRBC, JACG

288 **Writing – original draft:** GAP

289 **Writing – review & editing:** GAP

290

## 291 **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

292 Adem, E.B., & Suleiman, L. (2020). Analyzing evidence of sustainable urban water management  
293 systems: a review through the lenses of sociotechnical transitions. *Sustainability*, *12*, 1-45.

294 Adhikari, K., & Fedler, C. (2019). Water sustainability using pond-in-pond wastewater treatment  
295 system: case studies. *Journal of Water Process Engineering*, *36*, 1-10.

296 Argota, P.G., Argota, C.H., & Iannacone, O.J. (2016). Costo ambiental sostenible relativo  
297 a la variabilidad físico-química de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el  
298 ecosistema San Juan, Santiago de Cuba, Cuba. *The Biologist (Lima)*, *14*, 219-232.

299 Belli, C.F.R., Argota, P.G., & Iannacone, J. (2023). Coeficiente de biodegradabilidad en las lagunas  
300 de oxidación Angostura-Limón y Yaurilla, Ica-Perú. *Biotempo*, 19, 265-268.

301 Bharathiraja, B., Ebenezer, S.I.A., Iyyappan, J., & Varjani, S. (2019). Itaconic acid: an effective  
302 sorbent for removal of pollutants from dye industry effluents. *Current Opinion in*  
303 *Environmental Science & Health*, 12, 6-17.

304 Córdova, M.P., Barrios, M.T., Córdova, B.I.C., & Navarrete, V.R.A. (2021). Tratamiento de aguas  
305 residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en  
306 cultivos agrícolas. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5,  
307 237-249.

308 Feng, S., Hao, N.H., Guo, W., Woong, C.S., Duc, N.D., Cheng, D., Varjani, S., Lei, Z., & Liu, Y.  
309 (2021). Roles and applications of enzymes for resistant pollutants removal in wastewater  
310 treatment. *Bioresource Technology*, 335, 125278.

311 Fuenfschilling, L., & B. (2014). The structuration of socio-technical regimes - conceptual  
312 foundations from institutional theory. *Research Policy*, 43, 772-791.

313 Ghosh, B., Kivimaa, P., Ramirez, M., Schot, J., & Torrens, J. (2021). Transformative outcomes:  
314 assessing and reorienting experimentation with transformative innovation policy. *Science*  
315 *and Public Policy*, 48, 739-756.

316 Głazowska, S., Baldwin, L., Mravec, J., Bukh, C., Fangel, J.U., Willats, W.G., & Schjoerring, J.K.  
317 (2019). The source of inorganic nitrogen has distinct effects on cell wall composition in  
318 *Brachypodium distachyon*. *The Journal of Experimental Botany*, 70, 6461-6473.

319 Huber, M., Welker, A., & Helmreich, B. (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic  
320 area runoff: occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of the Total*  
321 *Environment*, 541, 895-919.

322 Humanante, C.J.J., Moreno, A.L.C., Grijalva, E.A., Saldoya, T.R.W., & Suárez, T.J.A. (2022).  
323 Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector  
324 urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19, 177-187.

325 Ivanovsky, A., Belles, A., Criquet, J., Dumoulin, D., Noble, P., Alary, C., & Billon, G. (2018).  
326 Assessment of the treatment efficiency of an urban stormwater pond and its impact on the  
327 natural downstream watercourse. *Journal of Environmental Management*, 226, 120-130.

328 Khanal, S.K., Varjani, S., Lin, C.S.K., & Awasthi, M.K. (2020). Waste-to-resources: opportunities  
329 and challenges. *Bioresource Technology*, 317, 123987.

330 Lee, E., Ranjan, R.P., Kyun, Y., & Bae, J. (2020). Process optimization and energy analysis of  
331 vacuum degasifier systems for the simultaneous removal of dissolved methane and hydrogen  
332 sulfide from anaerobically treated wastewater. *Water Research*, 182, 115965.

333 Lopez, B.J.C.J., & Tooth, F.F.M. (2022). Remoción de demanda química de oxígeno de aguas  
334 residuales empleando carbón activado en la laguna de oxidación, Nuevo Chimbote-2022.  
335 *Tesis para optar por el título profesional de ingeniero civil* [Facultad de Ingeniería y  
336 Arquitectura, Universidad César Vallejo]. Lima, Perú.

337 Luo, L., Kaur, G., Zhao, J., Zhou, J., Xu, S., Varjani, S., & Wong, J.W.C. (2021). Optimization of  
338 water replacement during leachate recirculation for two-phase food waste anaerobic  
339 digestion system with off-gas diversión. *Bioresource Technology*, 335, 125234.

340 Mishra, B., Varjani, S., Chand, A.D., Kumar, M.S., Hao, N.H., Mohammad J.T., Jo, S.C., You, S.,  
341 & Guo, W. (2020). Engineering biocatalytic material for the remediation of pollutants: A  
342 comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101063.

343 Mohanty, A., Rout, P.R., Dubey, B., Meena, S.S., Pal, P., & Goel, M. (2021). A critical review on  
344 biogas production from edible and non-edible oil cakes. *Biomass Conversion and*  
345 *Biorefinery*. 1<sup>st</sup> Edition, pp. 1-18.

346 Morrissey, A. (2018). Treatment and recycling of domestic and industrial wastewater.  
347 *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 1, 908-918.

348 Nagarajan, D., Jong, L.D., Yen, C.C., & Shu, C.J. (2020). Resource recovery from wastewaters  
349 using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective. *Bioresource*  
350 *Technology*, 302, 122817.

351 Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT. (2000). *Especificaciones de fertilidad, salinidad y*  
352 *clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial de la Federación, 31 de  
353 diciembre de 2002. 2da sección, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.  
354 México.

355 Pasco, M.M.M. (2023). Comportamiento hidráulico en la remoción de materia orgánica de aguas  
356 residuales en una zanja de oxidación anóxica Tuyu Ruri Ancash, 2023. *Tesis para optar por*  
357 *el título profesional de Ingeniero sanitario* [Facultad de Ciencias del Ambiente, Universidad  
358 Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Huaraz, Perú.

359 Romero, L.T.J., & Castillo, T.Y. (2018). Actualización del estado de las lagunas de estabilización  
360 de la provincia Mayabeque. *Ingeniería, Hidráulica y Ambiental*, 39, 72-85.

361 Walkley, A., & Black, IA. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil  
362 organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil*  
363 *Science*, 37, 29-38.

364 Zhu, W., Wang, S., Luo, P., Zha, X., Cao, Z., Lyu, J., Zhou, M., He, B., & Nover, D. (2022). A  
365 quantitative analysis of the influence of temperature change on the extreme precipitation.  
366 *Atmosphere*, 13, 1-15.

367 Received March 24, 2024.

368 Accepted April 8, 2024.

ASAP