

Simulación tecnológica verde para el tratamiento de las aguas en la laguna de oxidación Espinar, Puno - Perú

Green technology simulation for water treatment in the oxidation lagoon Espinar, Puno-Peru

Recibido: noviembre 08 de 2022 | Revisado: noviembre 11 de 2022 | Aceptado: noviembre 20 de 2022

CARLOS ARMANDO HUAMÁN CARREÓN¹
GEORGE ARGOTA PÉREZ²

RESUMEN

El objetivo del estudio fue describir una simulación tecnológica verde para el tratamiento de las aguas residuales en la laguna de oxidación espinar, Puno-Perú. El estudio se realizó en la laguna de oxidación de Espinar, Puno. Mediante una selección probabilística aleatoria en abril (2022) se muestreó, afluentes y efluentes para el análisis de la calidad del agua donde los parámetros físico-químicos fueron la demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$) y la demanda química del oxígeno (DQO). Mediante la especie *Shoenoplectus sp. tatora* (totora), se estableció una simulación tecnológica verde. Los valores de la $DBO_{5,20}$ ($305,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y la DQO ($803,35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) superaron 30 y 16 unidades, el límite máximo permisible por la norma ambiental de regulación. La simulación tecnológica verde en la laguna de oxidación de Espinar con la especie *S. tatora* sp., permite como práctica sostenible, promover un control eficiente en el tratamiento del agua a largo plazo.

Palabras clave: agua, corredor verde, ecoeficiencia, purificación sostenible

ABSTRACT

The objective of the study was to describe a green technology simulation for wastewater treatment in the oxidation lagoon of Espinar, Puno-Peru. The study was conducted in the oxidation lagoon of Espinar, Puno. By means of a random probabilistic selection in April (2022), influents and effluents were sampled for the analysis of water quality where the physicochemical parameters were biochemical oxygen demand ($BOD_{5,20}$) and chemical oxygen demand (COD). Using the species *Shoenoplectus sp. tatora* (totora), a green technology simulation was established. The values of $BOD_{5,20}$ ($305.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and COD ($803.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) exceeded 30 and 16 units, the maximum permissible limit by the environmental regulation standard. The green technological simulation in the oxidation lagoon of Espinar with the *S. tatora* sp. species, allows as a sustainable practice, to promote an efficient control in the long-term water treatment.

Keywords: water, green corridor, eco-efficiency, sustainable purification

¹ Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Puno-Perú

² Centro de Investigación y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI", Puno-Perú

Autor de correspondencia:
d29552618@uancv.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://doi.org/10.24265/campus.2022.v27n34.10>

Introducción

Los lagos son espacios naturales que permiten sinergias entre los organismos y valores de uso como ecosistemas (Wang & Shen, 2019; Vasistha & Ganguly, 2020). Uno de los lagos es el Titicaca que se ubica en el altiplano entre Perú y Bolivia a 3810 msnm. Tiene una extensión aproximada de 8,167 km² (Wirrman, 1992), donde la participación que corresponde a la bahía interior de Puno (Paredes & Gonfiantini 1999) está contaminada debido a las descargas de efluentes por la laguna de oxidación de Espinar (Argota, 2015; Argota *et al.*, 2020).

Por lo general, las lagunas de oxidación es el sistema de tratamiento que existen en las zonas urbanas (Huber *et al.*, 2016), y desde su práctica tecnológica solo permiten la mitigación debido a la transformación no inmediata de las cargas residuales y que implica la oxidación, sedimentación, filtración, intercambios de gases, aireación, flujo de energía entre otros procesos (Ivanovsky *et al.*, 2018).

La necesidad de reutilización de las aguas contaminadas significa la búsqueda de alternativas sostenibles para su recuperación y con ello, satisfacer el ambiente ecológico como las demandas sociales ante el aumento de la población a nivel mundial (Haa *et al.*, 2017; Adhikari & Fedler, 2019; Zhu *et al.*, 2022), donde la recuperación de los espacios debe realizarse sin favorecer la fragmentación de los sistemas (Shaver *et al.*, 2016; Buijs *et al.*, 2018). En tal sentido, ante la complejidad según la codependencia

de los componentes que resultan en la contaminación de las aguas y su impacto (Fang *et al.*, 2018; Yildiz *et al.*, 2019), una de las alternativas más recientes para la recuperación, conservación y la predicción ambiental son los corredores verdes (Zhang *et al.*, 2018; Wang & Shen, 2019).

El objetivo del estudio fue describir una simulación tecnológica verde para el tratamiento de las aguas residuales en la laguna de oxidación Espinar, Puno-Perú.

Método

El estudio se realizó en la laguna de oxidación de Espinar, Puno (Figura 1). Mediante una selección probabilística aleatoria en abril (2022) se muestreó, afluentes y efluentes para el análisis de la calidad del agua donde los parámetros físico-químicos fueron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}) y la demanda química del oxígeno (DQO). Para la comparación de los resultados se utilizó, el Decreto Supremo No. 004-2017 del Ministerio del Ambiente / Categoría 1: Poblacional y Recreacional. Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para la recreación. B2: contacto secundario.

Mediante la especie *Shoenoplectus sp. tatora*. (totora) se estableció una simulación tecnológica verde. Las imágenes de fotografías se capturaron, a través de un celular (Galaxy A52s5G) y desde el PowerPoint 2021 para Windows del Office (Microsoft 365) se construyó, el contorno de la laguna de oxidación que se capturó con el Google Earth.

Figura 1
Sistema lagunar de oxidación de Espinar, Puno



Nota: Google Earth.

Resultados y Discusión

Se muestran los resultados de los parámetros físico-químicos antes y después del tratamiento ambiental

en la laguna de oxidación, donde el promedio para la $DBO_{5,20}$ y la DQO superó alrededor, de 30 y 16 unidades, el límite máximo permisible por la norma ambiental de regulación (Tabla 1).

Tabla 1
Concentración de parámetros físico-químicos en la laguna de oxidación Espinar

Réplica	Parámetros físico-químicos	U/M	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	X	Referencia ambiental*
1	$DBO_{5,20}$	$mg.L^{-1}$	315,0	308,0	305,8	10
	$DBO_{5,20}$	$mg.L^{-1}$	268,8	303,6		
2	DQO	$mg.L^{-1}$	795,0	811,7	803,35	50
	DQO	$mg.L^{-1}$	728,3	795,0		

Nota. * Categoría 4. Conservación del medio acuático

Los valores elevados de la $DBO_{5,20}$ y la DQO indicaron elevado consumo de oxígeno (Kim *et al.*, 2013), para degradar y oxidar la materia orgánica que se tributa por los afluentes. La materia orgánica biodegradable al ser directamente proporcional a la concentración de oxígeno disuelto (Park & Noguera, 2004), entonces resultaría imposible, eliminar aquella materia orgánica en exceso no requerida donde Guo *et al.*,

(2013) indican, cuan alto es el contenido de nutrientes. Entre la $DBO_{5,20}$ y DQO existe una relación que se denomina coeficiente de biodegradación y esta tasa o fracción biodegradable, es un indicador sobre el estado de tratamiento ambiental de las aguas residuales en las lagunas de oxidación (Jouanneau *et al.*, 2014).

La principal dificultad en la medición de la $DBO_{5,20}$ radica en su logro eficiente

solo para cinco días, a partir de obtenerse la biomasa por transformación de los microorganismos aerobios (Chiappini *et al.*, 2010).

Ante los valores de los efluentes de la laguna de oxidación de Espinar, puede indicarse una mala calidad ambiental de la carga que se tributa lo que señala, que el estado insuficiente para el tratamiento y su probable transformación podría

generar costos insostenibles. Sin embargo, la implementación de un corredor verde permite como tratamiento sostenible mejorar la calidad de los efluentes en la laguna de oxidación de Espinar.

Se muestran las condiciones de entrada de los afluentes en la laguna de oxidación primaria de Espinar y la dispersión de la materia orgánica por la superficie de la columna de agua (Figura 2).

Figura 2

Entrada y dispersión de la materia orgánica / laguna de oxidación de Espinar

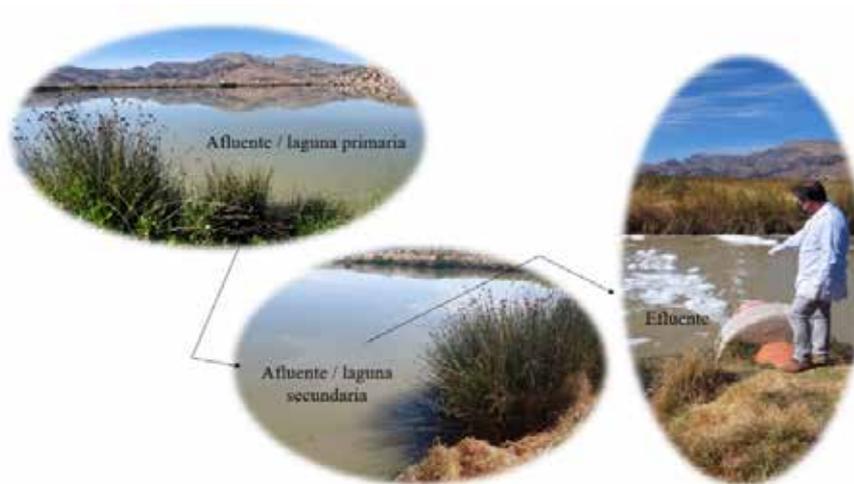


Se observó la similitud en la coloración física entre el afluente (agua residual de entrada) y el efluente (agua residual de salida), y que muestra la eficiencia

limitada del tratamiento ambiental que genera la laguna de estabilización de Espinar (Figura 3).

Figura 3

Similitud en la coloración del afluente y efluente / laguna de oxidación de Espinar



Se observó la presencia de la especie *Shoenoplectus sp. tatora*. (totora), en los bordes y alrededor de la laguna primaria

y secundaria como a la salida del efluente (Figura 4).

Figura 4

Shoenoplectus sp. tatora / laguna de oxidación de Espinar

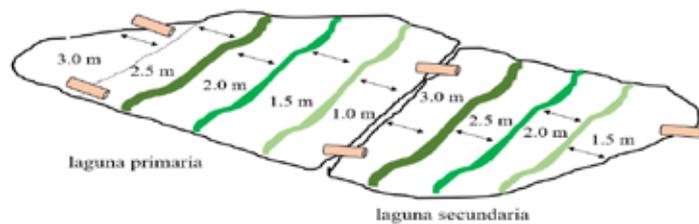


Dada la presencia de la especie *Shoenoplectus sp. tatora*, se indicó una simulación tecnológica verde primaria

para el tratamiento eficiente de la laguna de estabilización de Espinar (Figura 5).

Figura 5

Simulación tecnológica verde primaria / laguna de oxidación de Espinar



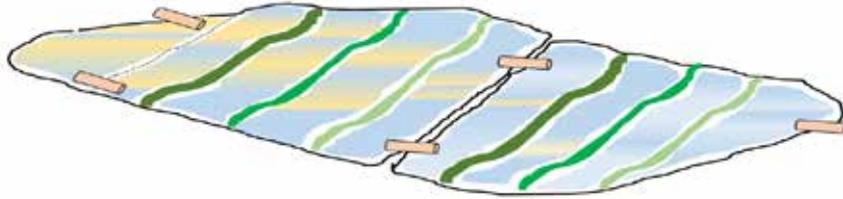
- Leyenda:
-  Tubería de conexión / agua residual
 -  Distancia aleatoria / *Shoenoplectus sp. tatora*
 -  Corredor ecológico de *Shoenoplectus sp. tatora*

Se muestra la simulación tecnológica verde secundaria para el tratamiento eficiente de la laguna de estabilización de Espinar y donde la coloración física

del agua varía en transparencia a medida que el afluente se transporta, a través de especie *Shoenoplectus sp. tatora* (Figura 6).

Figura 6

Simulación tecnológica verde secundaria / laguna de oxidación de Espinar

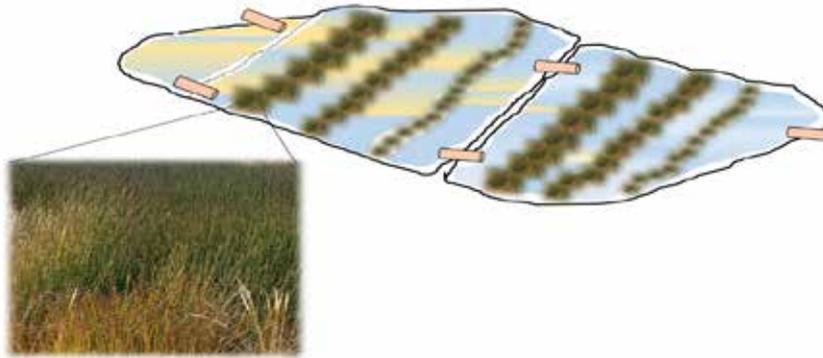


La simulación tecnológica verde secundaria dada la presencia de la especie *Shoenoplectus sp. tatora* permite, la retención de la materia orgánica biodegradable, así como la transparencia

física de los afluentes ante de su descarga final con lo cual, la contaminación hacia la bahía interior de Puno, puede disminuir (Figura 7).

Figura 7

*Simulación tecnológica con la especie *Shoenoplectus sp. tatora* / laguna de oxidación de Espinar*



La simulación tecnológica verde en la laguna de oxidación de Espinar con la especie *Shoenoplectus sp. tatora*, que desde su perspectiva de espacio abierto, limita la dispersión de la contaminación y por tanto, habrá un econodo de amortización (Li *et al.*, 2014). Asimismo, no solo contribuye a una gestión urbana más sostenible del agua (Fuenfschilling & Truffer, 2014; Adem *et al.*, 2020), sino que posibilita el análisis como práctica alternativa donde es posible la promoción de cambios sistémicos en el control eficiente del agua a largo plazo (Fuenfschilling *et al.*, 2019; Ghosh *et al.*, 2021).

controladas de campo para la valoración eficiente de la tecnológica verde con la especie *Shoenoplectus sp. tatora* en la laguna de oxidación de Espinar.

Conclusiones

Se concluye que el valor de la DBO_{5,20} (305,8 > 10 mg.L⁻¹) y la DQO (803,35 > 50 mg.L⁻¹) en los efluentes superó el valor permisible por la norma reguladora ambiental. Por tanto, existió exceso de materia orgánica que no se transformó y generó efluentes contaminados.

La simulación tecnológica verde con la especie *Shoenoplectus sp. tatora* permite su valoración como tratamiento ambiental sostenible.

La principal limitación del estudio fue no realizar experimentos en condiciones

Referencias

- Adem, E.B. & Suleiman, L. (2020). Analyzing evidence of sustainable urban water management systems: a review through the lenses of sociotechnical transitions. *Sustainability*; 12(11), 1-45. <https://doi.org/10.3390/su12114481>
- Adhikari, K. & Fedler, C. (2019). Water sustainability using pond-in-pond wastewater treatment system: case studies. *Journal of Water Process Engineering*; 36, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101281>
- Argota, P.G. (2015). Aplicación Gecotoxic para predicción de riesgo ambiental: caso Estudio sobre mortandad de peces en la bahía interior del Lago Titicaca, Puno-Perú. *Campus*; 20(20); 11-19. <http://dx.doi.org/10.24265/campus.2016.v20n20.01>
- Argota, P.G., Escobar, M.F. & Moreno, T.E.G. (2020). Calidad estacionaria del agua ante el costo ambiental sostenible relativo con agregación de biomarcadores: Bahía de Puno, lago Titicaca, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*; 22(2), 146-154. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.602>
- Buijs, A., Hansen, R., Van der Jagt, S., Ambrose, O.B., Elands, B., Lorange, R.E., Mattijssen, T., Pauleit, S., Runhaar, G., Olafsson, A.S. & Steen, M.M. (2018). Mosaic governance for urban green infrastructure: Upscaling active citizenship from a local government perspective. *Urban Forestry & Urban Greening*; 40, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.011>
- Chiappini, S.A., Kormes, D.J., Bonetto, M.C., Sacco, N. & Cortón, E. (2010). A new microbial biosensor for organic water pollution based on measurement of carbon dioxide production. *Sensors & Actuators, B: Chemical*; 148(1), 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2010.04.039>
- Fang, S., Da, X.L, Zhu, Y., Ahati, J., Pei, H., Yan, J. & Liu, Z. (2018). An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things, IEEE. *Trans. Indus. Inform*; 10(2), 1596-1605. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2302638>
- Fuenfschilling, L. & Truffer, B. (2014). The structuration of socio-technical regimes - conceptual foundations from institutional theory. *Res. Pol*; 43(4), 772-791. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.010>
- Ghosh, B., Kivimaa, P., Ramirez, M., Schot, J. & Torrens, J. (2021). Transformative outcomes: assessing and reorienting experimentation with transformative innovation policy. *Sci. Publ. Pol*; 48(5), 739-756. <https://doi.org/10.1093/scipol/scab045>
- Guo, C.Q., Cui, Y.L., Dong, B. & Liu, F.P. (2017). Tracer study of the hydraulic performance of constructed wetlands planted with

- three different aquatic plant species. *Ecological Engineering*; 102, 433-442. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.040>
- Haas, J. & Ban, Y. (2017). Mapping and monitoring urban ecosystem services using multitemporal high-resolution satellite data. Selected topics in applied earth observations and remote sensing, *IEEE Journal*; 10(2), 669-680. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2586582>
- Huber, M., Welker, A. & Helmreich, B. (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: occurrence, influencing factors, and partitioning. *Sci. Total Environ*; 541(15), 895–919. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.033>
- 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(15), 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.015>
- Jouanneau, S., Recoules, L., Durand, M.J., Boukabache, A., Picot, V., Primault, Y., Lakel, A., Sengelin, M., Barillon, B. & Thouand, G. (2014). Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review. *Water research*; 49(1), 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.066>
- Kim, Y.M., Park, H., Cho, K.H. & Park, J.M. (2013). Long term assessment of factors affecting nitrifying bacteria communities and N-removal in a full-scale biological process treating high strength hazardous wastewater. *Bioresource Technology*; 134, 180-189. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.02.036>
- Li, L., Liu, J. M., Song, T., Zhu, H. & Tao, H. (2014). Research progress of urban green belt and recreational use. *Progress in Geography*; 33(9), 1252-1261. <https://doi.org/10.11820/dlkxjz.2014.09.012>
- Paredes, M. & Goniantini, G. (1999). Lake Titicaca: historical and current studies. Water and Environment News. International Atomic Energy Agency. Quarterly (8/9). 6-8.
- Park, H.D. & Noguera, D.R. (2004). Evaluating the effect of dissolved oxygen on ammonia oxidizing bacterial communities in activated sludge. *Water Research*; 38, 3275-3286. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.04.047>
- Shaver, D.J., Hart, K.M., Fujisaki, I., Rubio, C., Sartain, I.A.R., Peña, J. & *et al.*, (2016). Migratory corridors of adult female Kemp's ridley turtles in the Gulf of Mexico. *Biological Conservation Journal*; 194, 158-167. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.014>
- Vasistha, P. & Ganguly, R. (2020). Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview. *Materials Today*:

- Proceedings*; 34(4), 544-552. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.092>
- Wang, H. & Shen, J. (2019). Research on the voltage prediction of unmanned aerial vehicle photovoltaic modules based on new combination optimization algorithm. *Int Trans Electr Energ Syst*; Special Issue Paper, 1-13. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.2844>
- Wang, Y., Gao, W., Wang, Y. & Jiang, G. (2019). Suspect screening analysis of the occurrence and removal of micropollutants by GC-QTOF MS during wastewater treatment processes. *J. Hazard. Mater*; 376(15), 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.05.031>
- Wirrmann, D. (1992). Morphology and bathymetry. In C. Dejoux & A. Iltis (Eds.), *Lake Titicaca. A Synthesis of Limnological Knowledge* (pp. 16-22). Kluwer Academic.
- Yildiz, I., Açikkalp, E., Caliskan, H. & Mori, K. (2019). Environmental pollution cost analyses of biodiesel and diesel fuels for a diesel engine. *Journal of Environmental Management*; 243, 218-226. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.002>
- Zhang, Z., Meerow, S., Newell, J. P. & Lindquist, M. (2018). Enhancing landscape connectivity through Multi-functional green infrastructure corridor modeling and design. *Urban Forestry & Urban Greening*; 38, 305-317. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.10.014>
- 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(4), 1-15. <https://doi.org/10.3390/atmos13040612>

