

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

RELATIVE SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL COST TO THE OXYGEN TRANSFER COEFFICIENT IN WASTEWATER

COSTO AMBIENTAL SOSTENIBLE RELATIVO ANTE EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN AGUAS RESIDUALES

Teresa O. Barrios-Mendoza^{1a}; Pedro Córdova-Mendoza^{1b}; Isis C. Córdova-Barrios^{1b}; George Argota-Pérez² & José-Iannacone^{3,4}

-
- 1 Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" (UNICA). Ica, Perú.
a) Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica (FIQP). obarriosm17@yahoo.es
b) Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (FIAS). pedrocordovamendoza@hotmail.com; isiscordovabarrios@hotmail.com
 - 2 Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI". Puno, Perú. george.argota@gmail.com
 - 3 Laboratorio de Parasitología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Ricardo Palma (URP).
 - 4 Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Lima-Perú. joseiannacone@gmail.com
Author for correspondence: george.argota@gmail.com

ABSTRACT

The aim of study was to estimate the relative sustainable environmental cost in relation to the coefficient of oxygen transfer in wastewater. The study was conducted from August to September 2018 in the oxidation lagoon of Angostura Limón belonging to the Subtanjalla District, Province and Department of Ica, Peru. Through a non-probabilistic sampling for convenience, the point of entry and exit of the effluents was selected, where three sampling replicates were made at each point and then considered as composite samples for the quantification of biochemical oxygen demand ($BOD_{5,20}$) and chemical oxygen demand (COD). For the comparison of the results, what was declared by Supreme Decree No. 004-2017-MINAM in Peru was used: Category 1 - Population and Recreational; Subcategory A: surface water intended for the production of drinking water; A2: waters that can be treated with conventional treatment. The $BOD_{5,20}$ and COD

at both sampling points exceeded the maximum permissible limit where there were statistically significant differences between the concentrations of both parameters for the entry and exit points despite being reduced by 33.79% ($BOD_{5,20}$) and 44.88% (COD). The estimate of the relative sustainable environmental cost indicated that the effluents presented unwanted environmental quality in the face of possible use values. However, the contradiction was that the analysis of the oxygen transformation coefficient indicated the biodegradable nature of the wastewater when entering into the oxidation lagoon, demonstrating limitations in its treatment efficiency.

Keywords: environmental cost – transformation coefficient – wastewater – water quality

RESUMEN

El objetivo del estudio fue estimar el costo ambiental sostenible relativo ante el coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales. El estudio se realizó desde agosto a septiembre del 2018 en la laguna de oxidación de Angostura Limón perteneciente al Distrito de Subtanjalla, Provincia y Departamento de Ica, Perú. Mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia se seleccionó el punto de entrada y salida de los efluentes donde se realizaron tres réplicas de muestreo en cada punto considerándose luego, como muestras compuestas para la cuantificación de la demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$) y la demanda química de oxígeno (DQO). Para la comparación de los resultados se utilizó lo declarado por el Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM en el Perú: Categoría 1 - Población y Recreacional; Subcategoría A: aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable; A2: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. La $DBO_{5,20}$ y DQO en ambos puntos de muestreo superaron el límite máximo permisible donde existió diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las concentraciones de ambos parámetros para los puntos de entrada y salida a pesar, de reducirse en 33,79% ($DBO_{5,20}$) y 44,88% (DQO). La estimación del costo ambiental sostenible relativo indicó que, los efluentes presentaron calidad ambiental indeseada ante posibles valores de uso. Sin embargo, lo contradictorio fue que el análisis del coeficiente de transformación de oxígeno señaló la naturaleza biodegradable de las aguas residuales al ingresar hacia la laguna de oxidación demostrando, limitaciones en su eficiencia de tratamiento.

Palabras clave: aguas residuales – calidad del agua – coeficiente de transformación – costo ambiental

INTRODUCCIÓN

Por lo general, la mayoría de los países han establecido como requisito regulatorio la presencia de plantas de tratamiento (PT) para aguas residuales municipales antes de su vertimiento final al medio ambiente (Farid *et al.*, 2016; Gebicki *et al.*, 2016).

Aunque, las PT pueden transformar ciertos contaminantes, existe poca evidencia sobre los impactos ambientales que son condicionados por acciones aditivas (ej.; calentamiento global) (Meneses *et al.*, 2015; Shaubroeck *et al.*, 2015).

La práctica eficiente para el tratamiento de las aguas residuales por parte de las lagunas de oxidación puede valorarse sobre su diseño tecnológico de operatividad (Feria & Martínez, 2014; Treviño & Cortés, 2016) y cuyo objetivo principal se orienta a valorar la viabilidad de remoción de la carga contaminante no deseada (Ivanovsky *et al.*, 2018), la cual, puede determinarse mediante el límite máximo permisible (o deseado) de parámetros físico-químicos (Huber *et al.*, 2016; Romero, 2018).

La calidad ambiental de los efluentes resultantes en las PT puede ser medida mediante índices económicos que indican la pérdida del bienestar sobre el uso del recurso agua (Volk *et al.*, 2008; Robert-Sainte *et al.*, 2009). Uno de los índices económicos, es el costo ambiental sostenible relativo el cual, relaciona el cumplimiento regulatorio de parámetros físico-químicos y microbiológicos de calidad ambiental del agua (Argota & Iannacone, 2016).

Entre los parámetros físico-químicos, el oxígeno disuelto (OD)

conjuntamente con la demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$) y la demanda química de oxígeno (DQO) resultan esenciales para valorar la degradación de la materia orgánica disuelta (Masrur, 2014; Jie *et al.*, 2018).

El propósito del estudio fue estimar el costo ambiental sostenible relativo ante el coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó desde agosto a septiembre del 2018 en la laguna de oxidación de Angostura Limón perteneciente al Distrito de Subtanjalla, Provincia Ica, Departamento de Ica.

Mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia se seleccionó el punto de entrada y salida (canal) de los efluentes donde se realizó tres réplicas de muestreo en cada punto y se consideró como muestras compuestas (5 litros de agua residual) para la cuantificación de la demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$) y la demanda química de oxígeno (DQO).

Para la comparación de los resultados se utilizó lo declarado por el Decreto Supremo No. 004-2017-MINAM, Perú: Categoría 1 - Población y Recreacional; Subcategoría A: aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable; A2: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional. La estimación del costo ambiental sostenible relativo (referida a la muestra compuesta del punto de salida) se refirió mediante la siguiente fórmula (Argota *et al.*, 2016):

$$\text{RESCO} = \sum_i^n \text{COA} / \sum_i^n \text{CONP}$$

- RESCO = costo ambiental sostenible relativo
- COA = costo de evaluación (medición de cumplimiento sobre parámetros)
- CONP = costo de prevención normativa (número de parámetros medidos)

- *i*) observación inicial y *n*) observación final

La tabla 1 muestra el criterio de puntuación otorgado según el cumplimiento de concentración regulatorio mientras que, la tabla 2 establece las categorías de sostenibilidad del recurso agua a partir, del cociente establecido por los valores hallados.

Tabla 1. Criterio de puntuación / costo ambiental sostenible relativo.

Criterio	Puntuación
cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada	1
no cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada	0

Tabla 2. Categorías del costo ambiental sostenible relativo / intervalo.

Categorías de sostenibilidad relativa	Intervalos
recurso sostenible relativo	1,0
recurso moderadamente sostenible relativo	0,85 – 0,99
recurso ligeramente sostenible relativo	0,6 – 0,84
recurso poco sostenible relativo	0,41 – 0,59
recurso no sostenible relativo	0,0 – 0,4

Con los parámetros físico-químicos de la muestra compuesta del agua residual en el punto de entrada se calculó el coeficiente de transformación (*f*) según la siguiente expresión (Hammadi *et al.*, 2016):

$$f = \text{DBO}_5 / \text{DQO}$$

La caracterización del tipo de agua residual según el coeficiente de transformación fue mediante lo indicado en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente de transformación / agua residual.

<i>f</i>	tipo de agua residual	biodegradabilidad
> 0,7	urbanas puras	muy biodegradables
0,2 - 0,7	industriales	biodegradables
< 0,2		no biodegradables

Se utilizó el programa estadístico profesional Epidat 4.2 (versión libre) donde la normalidad de los datos fue determinada mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La comparación de las medias se realizó con la prueba t-Student. Fueron considerados significativos los resultados con un nivel de confianza al 95%.

Aspectos éticos

1. Derechos

a) Consideración del carácter individual a participar, después de explicar los objetivos y métodos.

b) Sugerencia de negación, a participar después de señaladas las condiciones para realizar el estudio.

2. Deberes

a) Proporcionar oportunidades para que se opine.

b) Excluir toda posibilidad de engaños indebidos, influencia o intimidación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 4 muestra los valores de concentración para los parámetros fisico-químicos determinados en el agua residual.

Tabla 4. Concentración de parámetros fisico-químicos ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) / agua residual.

Parámetros	Muestra compuesta 1	Muestra compuesta 2	Ref. D.S. No.004-2017
DBO_5	248,0	164,2	3,0
DQO	546,1	301,0	10,0

La tabla 5 muestra el análisis comparativo entre los promedios de concentración (DBO_5 - DQO) para las dos muestras compuestas.

Tabla 5. Prueba t-Student / parámetros fisico-químicos / agua residual.

- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de DBO_5 (muestra compuesta 1): $248,0 \pm 2,48$ [245,51; 250,48]
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de DBO_5 (muestra compuesta 2): $164,2 \pm 2,48$ [161,71; 166,68]
- $t = 102,634$ valor-P = $5,40397\text{E}-8$
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de DQO (muestra compuesta 1): $546,1 \pm 2,48$ [543,61; 548,58]
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de DQO (muestra compuesta 2): $301,0 \pm 2,48$ [298,51; 303,48]
- $t = 300,18$ valor-P = $7,38853\text{E}-10$

El costo ambiental sostenible relativo para el agua residual (referida a la muestra compuesta del punto de salida) fue estimado como recurso no sostenible relativo (tabla 6):

- $RESCO = \text{muestra compuesta} / 2$
- $RESCO = DBO_5 + DQO / 2$
- $RESCO = 0 + 0 / 2$
- $RESCO = 0 / 2$
- $RESCO = 0$

Tabla 6. Costo ambiental sostenible relativo / aguas residuales.

Categorías de sostenibilidad relativa	Intervalos	Valor
recurso no sostenible relativo	0,0 – 0,4	0,0

El coeficiente de transformación (f) calculado se refirió a la muestra compuesta del agua residual en el punto de entrada hacia la laguna de oxidación donde se caracterizó como

biodegradable (tabla 7):

- $f = DBO_5 / DQO$
- $f = 248,0 \text{ mg.L}^{-1} / 546,1 \text{ mg.L}^{-1}$
- $f = 0,45$

Tabla 7. Coeficiente de transformación de oxígeno calculado (f) / aguas residuales.

f	Valor	biodegradabilidad
0,2 - 0,7	0,45	biodegradable

La $DBO_{5,20}$ y DQO en ambos puntos de muestreo superaron el límite máximo permisible según la norma regulatoria ambiental utilizada por cuanto, la materia orgánica (MO) contenida en las aguas residuales y que se descargó hacia la laguna de oxidación fue elevada. Aunque, no se midió la concentración del oxígeno disuelto (OD), su consumo para degradar y oxidar la MO resultó considerable. Cuando el OD se presenta como factor regulador ambiental de manera limitante, la tasa de reducción-oxidación sobre la MO es baja; y ante la poca biodegradabilidad se produce, eutrofización dada la

acumulación de nutrientes (Park & Noguera, 2004; Kim *et al.*, 2013; Guo *et al.*, 2013).

Existió diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las concentraciones de la $DBO_{5,20}$ y DQO en el punto de entrada y salida a pesar, de reducirse en 33,79% ($DBO_{5,20}$) y 44,88% (DQO), respectivamente. La estimación del costo ambiental sostenible relativo indicó que, los efluentes presentaron calidad ambiental indeseada ante posibles valores de uso. Sin embargo, lo contradictorio fue que el análisis del coeficiente de transformación de oxígeno señaló la naturaleza

biodegradable de las aguas residuales al ingresar hacia la laguna de oxidación demostrando, limitaciones en su eficiencia de tratamiento.

Se concluyó que, la estimación del costo ambiental sostenible relativo con

relación al coeficiente de transferencia de oxígeno en aguas residuales permitió indicar la calidad físico-química ambiental de la laguna de oxidación de Angostura Limón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argota, P.G. & Iannacone, O.J. 2016. Costo ambiental sostenible relativo dado la variabilidad fisicoquímica de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba-Cuba. *The Biologist* (Lima), 14: 219–232.
- Farid, A.M.; Lubna, A.; Choo, T.G.; Rahim, M.C. & Mazlin, M. 2016. A Review on the Chemical Pollution of Langat River, Malaysia. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 13: 9–15.
- Feria, D.J.J. & Martínez, A.L.E. 2014. Tratamiento de lodos de fondo de lagunas facultativas con estabilización en condiciones de laboratorio. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 11: 113–122.
- Figueruelo, J. & Dávila, M. 2004. *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. España: Reverté, S.A., 570 pp.
- Gebicki, J.; Byliński, H. & Namieśnik, J. 2016. Measurement techniques for assessing the olfactory impact of municipal sewage treatment plants. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 1–15.
- Guo, J.; Zhang, L.; Chen, W.; Ma, F.; Liu, H. & Tian, Y. 2013. The regulation and control strategies of a sequencing batch reactor for simultaneous nitrification and denitrification at different temperatures. *Bioresource Technology*, 133: 59–67.
- Hammadi, B.; Bebbba, A.A. & Gherraf, N. 2016. Degradation of organic pollution aerated lagoons. In an arid climate: the case the treatment plant Ouargla (Algeria). *Acta Ecologica Sinica*, 36: 275–279.
- 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.
- 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.
- Jie, Z.J.; Kang, L. & Anderson, P.R. 2018. Predicting influent biochemical oxygen demand: Balancing energy demand and risk management. *Water Research*, 128: 304–313.

- 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.
- Masrur, A.A.A. 2014. Prediction of dissolved oxygen in Surma River 5 influenced by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs). *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 29: 151–158.
- Meneses, M.; Concepción, H.; Vrecko, D. & Vilanova, R. 2015. Life Cycle Assessment as an environmental evaluation tool for control strategies in wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 107: 653–661.
- 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.
- Robert-Sainte, P.; Gromaire, M.C.; De Gouvello, B.; Saad, M. & Chebbo, G. 2009. Annual metallic flows in roof runoff from different materials: test-bed scale in Paris conurbation. *Environmental Science & Technology*, 43: 5612–5618.
- Romero, L.T.J. 2018. Actualización del estado de las lagunas de estabilización de la provincia Mayabeque. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39: 72–85.
- Schaubroeck, T.; De Clippeleir, H.; Weissenbacher, N.; Dewulf, J.; Boeckx, P.; Vlaeminck, S.E. & Wett, B. 2015. Environmental sustainability of an energy self-sufficient sewage treatment plant: Improvements through DEMON and co-digestion. *Water Research*, 74: 166–179.
- Treviño, C.A. & Cortés, M.F. 2016. Método de diseño reducido para lagunas de estabilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7: 729–742.
- Volk, M.; Hirschfeld, J.; Dehnhardt, A.; Schmidt, G.; Bohn, C.; Liersch, S. & Gassman, P.H. 2008. Integrated ecological-economic modelling of water pollution abatement management options in the Upper Ems river Basin. *Ecological Economics*, 66: 66–76.

Received November 23, 2019.

Accepted December 18, 2019.