



ENVIRONMENTAL COST OF THE BIODEGRADABLE TRANSFORMATION COEFFICIENT IN OXIDATION POND EFFLUENTS, ICA, PERU

COSTO AMBIENTAL DEL COEFICIENTE DE TRANSFORMACIÓN BIODEGRADABLE EN EFLUENTES DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN, ICA, PERÚ


Félix Ricardo Belli-Carhuayo^{1,2*}; Rene Anselmo De la Torre-Castro¹
& George Argota-Pérez³


¹ Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" (UNICA). Ica, Perú. felix.belli@unica.edu.pe


² Municipalidad Provincial. Ica, Perú.

³ Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI". Puno, Perú. george.argota@gmail.com

* Corresponding author: felix.belli@unica.edu.pe

Félix Ricardo Belli-Carhuayo:  <https://orcid.org/0000-0002-2885-8071>

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

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

ABSTRACT

The objective of the study was to describe the environmental cost of the biodegradable transformation coefficient in effluents from oxidation ponds, in Ica, Peru. In January and February 2023, effluents from the oxidation ponds of Angostura Limón, Yaurilla, and Pueblo Nuevo were sampled. Biochemical oxygen demand (BOD_{5,20}) and chemical oxygen demand (COD) was determined where the concentrations were compared with the maximum permissible limit of Supreme Decree 004-2017 MINAM - Peru. With the data, the environmental cost was estimated by a quotient between the cost of assessment (COA) and the regulatory prevention cost (CONP). The values were BOD_{5,20} = 203.1 mg·L⁻¹ and COD = 405.0 (Angostura Limón), BOD_{5,20} = 273.1 mg·L⁻¹ and COD = 450.8 mg·L⁻¹



(Yaurilla) and $BOD_{5,20} = 366.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $COD = 628.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Pueblo Nuevo). The environmental cost was equal to 0. The $BOD_{5,20}$ and COD values exceeded the normative permissible limit: $5.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($BOD_{5,20}$) and $20.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (COD) because there was a high content of organic matter that did not biodegrade before the partial oxygen concentrations. The effluents are shown as a resource of limited value. It is concluded that the concentrations of $BOD_{5,20}$ indicated that there was biodegradability in the oxidation ponds, but the content of organic matter is high where the retention time for its degradation is insufficient and this dynamic influences the limitation of the use of the effluents because their treatment was not adequate.

Keywords: management – oxidation lagoon – urban treatment – wastewater

RESUMEN

El objetivo del estudio fue describir el costo ambiental del coeficiente de transformación biodegradable en efluentes de las lagunas de oxidación, Ica, Perú. En enero y febrero de 2023 se muestreó los efluentes de las lagunas de oxidación de Angostura Limón, Yaurilla y Pueblo Nuevo. Se determinó la demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$) y la demanda química de oxígeno (DQO) donde las concentraciones se compararon con el límite máximo permisible del Decreto Supremo 004-2017 MINAM - Perú. Con los datos se estimó el costo ambiental mediante un cociente entre el costo de evaluación (COA) y el costo de prevención normativo (CONP). Los valores fueron: $DBO_{5,20} = 203,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y $DQO = 405,0$ (Angostura Limón), $DBO_{5,20} = 273,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y $DQO = 450,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Yaurilla) y $DBO_{5,20} = 366,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y $DQO = 628,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Pueblo Nuevo). El costo ambiental fue igual a 0. Los valores de la $DBO_{5,20}$ y DQO superaron el límite permisible normativo: $5,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($DBO_{5,20}$) y $20,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (DQO) por cuanto, existió alto contenido de materia orgánica que no se biodegradó, antes las concentraciones parciales de oxígeno. Los efluentes se muestran como recurso de valor limitante. Se concluye, que las concentraciones de la $DBO_{5,20}$ indicaron que hubo biodegradabilidad en las lagunas de oxidación, pero el contenido de materia orgánica es elevado donde el tiempo de retención para su degradación resulta insuficiente y esta dinámica influye en la limitación de uso de los efluentes porque su tratamiento no fue adecuado.

Palabras clave: aguas residuales – gestión – laguna de oxidación – tratamiento urbano

INTRODUCCIÓN

Ante la limitada disponibilidad del agua a nivel mundial se necesita que su valoración sea económica y ambiental (Duarte *et al.*, 2002), pues el agua es un recurso estratégico en el presente siglo para la humanidad (Agudelo, 2005; He *et al.*, 2014). Por tanto la medición para preservar las fuentes de agua debe cuidarse y tratarse donde la eliminación de agentes dañinos es fundamental para asumir una calidad adecuada del agua (Wang & Zang, 2014). Desde la perspectiva económica se necesita combinar la calidad económica con la ambiental (Butler *et al.*, 2005), donde debe referirse conexiones con enfoques teóricos y prácticos para que los sistemas ambientales sean eficientes (Volk *et al.*, 2008), y de esta manera, las lagunas de oxidación serán consideradas como espacios de futuro para el bienestar humano.

Para la seguridad de los efluentes se requiere su análisis de predicción ecotoxicológico, ya que se considera las probables consecuencias en la conservación (Clark *et al.*, 2001), y al ser un enfoque de decisión temprana, genera datos útiles del estado a futuro en el sistema ambiental (Mouquet *et al.*, 2015). Los métodos de valoración predictivos de la contaminación para el control de los contaminantes se basan en la gestión de riesgo ecológico, pero un nuevo modelo integral se propuso desde la caracterización de las fuentes contaminantes, determinación de la seguridad de los parámetros físico-químicos, tipo de tratamiento y pruebas de toxicidad con lo cual, es

más real la predicción al considerarse datos reales de medición (Argota *et al.*, 2016).

Considerar, la tasa o fracción biodegradable mediante la relación entre la DBO_{5,20} (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno), desde una evaluación de predicción económica ambiental para el tratamiento de las aguas residuales en las lagunas de oxidación es fundamental (Jouanneau *et al.*, 2014).

El objetivo del estudio fue describir el costo ambiental del coeficiente de transformación biodegradable en efluentes de las lagunas de oxidación, Ica-Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en enero y febrero de 2023, donde se muestreó los efluentes de las lagunas de oxidación de Angostura Limón, Yaurilla y Pueblo Nuevo, Ica, Perú. Se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20}) y la demanda química de oxígeno (DQO), donde las concentraciones se compararon con el límite máximo permisible del Decreto Supremo 004-2017 MINAM(MINAM, 2017).

Las mediciones se realizaron por el Laboratorio Acreditado Envirotest S.A.C. Con los datos se estimó el costo ambiental mediante un cociente entre el costo de evaluación (COA) y el costo de prevención normativo (CONP) según la expresión siguiente (Argota *et al.*, 2016):

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

Dónde

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

- i) observación inicial y n) observación final

Mediante la fórmula puede conocerse la sostenibilidad del recurso agua de acuerdo al cumplimiento de parámetros (COA) obteniéndose un cociente, según el tipo de categorías (Tabla 1 y Tabla 2).

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.

Categoría de sostenibilidad relativa	Intervalo
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

Aspectos éticos

En este estudio, la teoría obedeció a la información contrastable donde se cumplió con el adecuado parafraseo y no existió, manipulación en el análisis y procesamiento de los datos para cumplir con el objetivo del estudio.

RESULTADOS

Se muestra las concentraciones de la DBO_{5,20} y DQO en los efluentes de las lagunas de oxidación Angostura Limón, Yaurilla y Pueblo Nuevo. Las concentraciones de los parámetros físico-químicos superaron el valor umbral permisible, según la normativa ambiental de referencia (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros físico-químicos en las lagunas de oxidación.

Parámetros	Angostura Limón	Yaurilla	Pueblo Nuevo	Referencia ambiental [†]
DBO _{5,20} (mg.L ⁻¹)	203,1	273,1	366,5	15,0
DQO (mg.L ⁻¹)	405,0	450,8	628,0	40,0
Coefficiente de transformación**		0.61	0.58	

* Límite máximo permisible del Decreto Supremo 004-2017 MINAM.

**Agua residual muy biodegradable (>0,7); biodegradable (0,2-0,7); no biodegradable (<0,2)

Se halló un costo ambiental de recursos no sostenible relativo ante el incumplimiento de las concentraciones permisibles normativas (Tabla 4).

Tabla 4. Categorías del costo ambiental sostenible relativo/intervalo.

Categoría de sostenibilidad relativa	Intervalo	Valor
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	0,0

DISCUSIÓN

Se indica que las lagunas de oxidación presentaron condiciones de eutrofización donde se limitó la disponibilidad de oxígeno (Ramos *et al.*, 2017), y con ello, la degradación del exceso de la materia orgánica biodegradable (Pire *et al.*, 2011; Romero & Castillo, 2018). Por tanto, el sistema de tratamiento desde las lagunas de oxidación no fue eficiente.

Las concentraciones elevadas de la DBO_{5,20} y la DQO impidieron su remoción mediante el proceso de biodegradación y esta observación señaló que no fue proporcional las concentraciones de los parámetros físico-químicos con la demanda de

oxígeno disuelto (Park & Noguera, 2004; Kim *et al.*, 2013; Guo *et al.*, 2013). Los valores de la DBO_{5,20} y la DQO en los efluentes señalaron que este recurso fue limitante para su valor de uso, pues se señaló una categoría de recurso no sostenible relativo (Färe *et al.*, 2014; Fuentes *et al.*, 2015). Sin embargo, el coeficiente de transformación de biodegradabilidad indicó, que los efluentes son biodegradable. Por tanto, se debe considerar un tratamiento ambiental más seguro para que la calidad ambiental del agua residual sea adecuada (He *et al.*, 2014; Argota *et al.*, 2016).

La limitación principal del estudio

fue predecir el riesgo ambiental de los efluentes como carga contaminante.

Se concluye, que las concentraciones de la $DBO_{5,20}$ indicaron que hubo biodegradabilidad en las lagunas de oxidación, pero el contenido de materia orgánica es elevado donde el tiempo de retención para su degradación resulta insuficiente y esta dinámica influye en la limitación de uso de los efluentes porque su tratamiento no fue adecuado.

Author contribution: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)

FRBC = Félix Ricardo Belli Carhuayo

RADC = Rene Anselmo De la torre Castro

GAP = George Argota-Pérez

Conceptualization: FRBC, RADC, GAP

Data curation: FRBC, RADC, GAP

Formal Analysis: GAP

Funding acquisition: FRBC, RADC

Investigation: FRBC, RADC, GAP

Methodology: GAP

Project administration: FRBC, RADC

Resources: FRBC, RADC

Software: GAP

Supervision: FRBC, RADC

Validation: GAP

Visualization: FRBC, RADC

Writing – original draft: FRBC, GAP

Writing – review & editing: FRBC, GAP

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, C.R.M. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 23, 91–102.
- Argota, P.G., Argota, C.H., & Iannacone, O.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.
- Butler, C.D., Corvalan, C.F., & Koren, H.S. (2005). Human health, well-being, and global ecological scenarios. *Ecosystems*, 8, 153–162.
- Clark, J.S., Carpenter, S.R., Barber, M., Collins, S., Dobson, A., Foley, J.A., Lodge, D.W., Pascual, M., Pielke, R.Jr., Pizer, W., Pringle, C., Reid, W.V., Rose, K.A., Sala, O., Schlesinger, W.H., Wall, D.H., & Wear, D. (2001). Ecological forecasts: An emerging imperative. *Science*, 293, 657–660.
- Duarte, R., Sánchez, C.J., & Bielsa, J. (2002). Water use in the Spanish economy: An input-output approach. *Ecological Economics*, 43, 71–85.
- Färe, R., Grosskopf, S., & Pasurka, C.A. (2014). Potential gains from trading bad outputs: The case of us electric power plants. *Resource and Energy Economics*, 36, 99–112.
- Fuentes, R., Torregrosa, T., & Ballenilla, E. (2015). Conditional order-m efficiency of wastewater treatment plants: The role of environmental factors. *Water*, 7, 5503–5524.

- 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.
- He, J., Zhang, H., Zhang, H., Guo, X., Song, M., Zhang, J., & Li, X. (2014). Ecological risk and economic loss estimation of heavy metals pollution in the Beijiang River. *Ecological Chemistry and Engineering*, 21, 189–199.
- 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, 62–82.
- 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.
- MINAM (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- Mouquet, N., Yvan, L., Devictor, V., Doyen, L., Duputié, A., Eveillard, D., Faure, Denis, G., E., Gimenez, O., Huneman, P., Jabot, F., Jarne, P., Joly, D., Julliard, R., Kéfi, S., Kergoat, G.J., Lavorel, S., Le Gall, L., Meslin, L., Morand, S., Morin, X., Morlon, H., Pinay, G., Pradel, R., Schurr, F.M., Thuiller, W., Loreau, M., & Cadotte, M. (2015). Predictive ecology in a changing world. *Journal of Applied Ecology*, 52, 1293–1310.
- 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.
- Pire, S.Ma.C., Rodríguez, S.K., Fuenmayor, R.M., Fuenmayor, Y., Acevedo, H.; Carrasquero, F.S., & Díaz, M.A. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21, 5–19.
- Ramos, R.M., Muñoz, P.J.F., & Saldarriaga, M.J.C. (2017). Efecto de la secuencia anaeróbica-óxica-anóxica (AOA) en la eliminación de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en un SBR modificado a escala de laboratorio. *Ingeniare*, 25, 477–491.
- 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.
- Volk, M., Hirschfeld, J., Dehnhardt, A., Schmidt, G., Bohn, C., Liersch, S., & Gassman, P.W. (2008). Integrated ecological-economic modelling of water pollution abatement management options in the Upper Ems River Basin. *Ecological Economics*, 66, 66–76.

Wang, X., & Zang, S. (2014). Distribution characteristics and ecological risk assessment of toxic heavy metals and metalloid in surface water of lakes in Daqing Heilongjiang Province, China. *Ecotoxicology*, 23, 609–617.

Received March 2, 2023.

Accepted May 13, 2023.