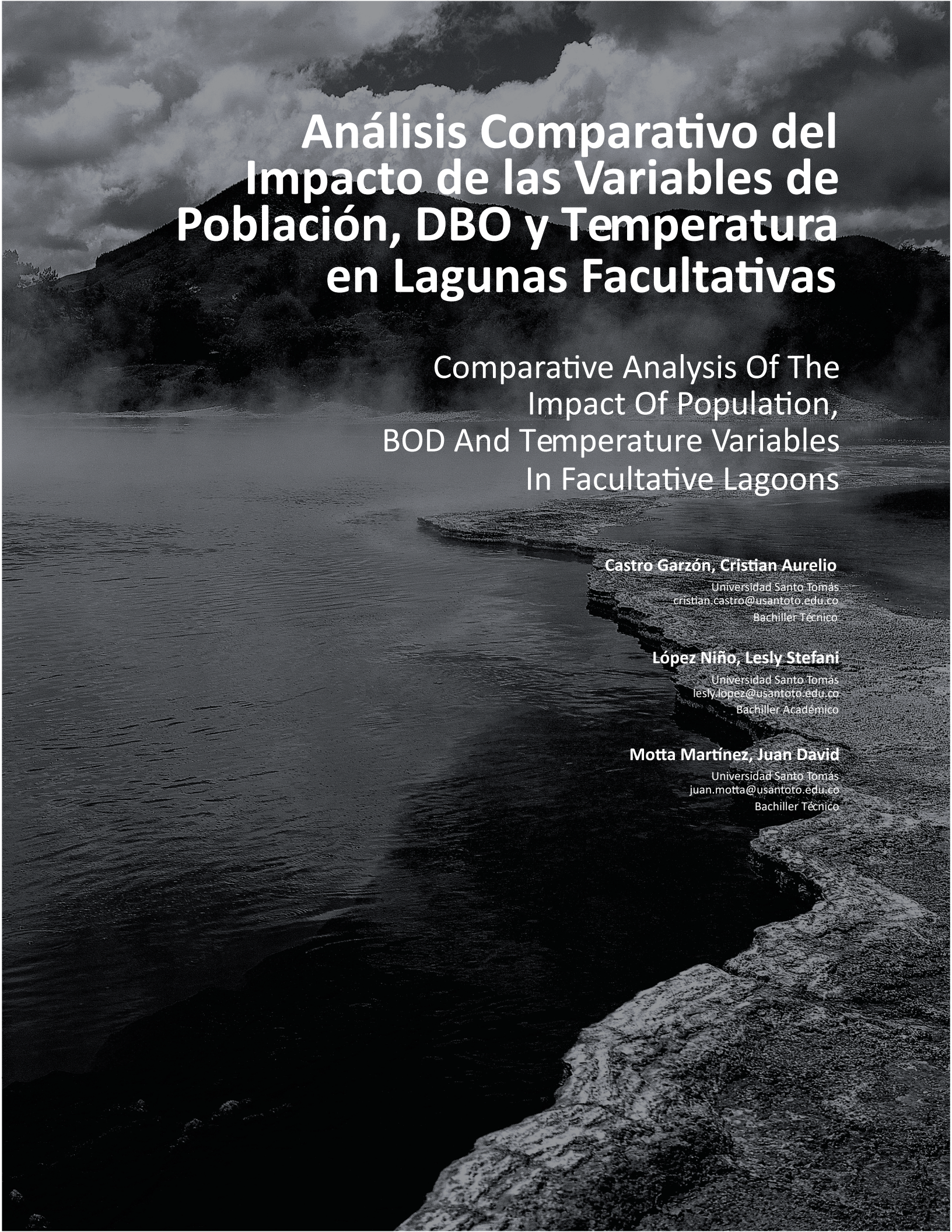




Análisis Comparativo del Impacto de las Variables de Población, DBO y Temperatura en Lagunas Facultativas

Comparative Analysis Of The Impact Of Population, BOD And Temperature Variables In Facultative Lagoons

Castro Garzón, Cristian Aurelio

Universidad Santo Tomás
cristian.castro@usantoto.edu.co
Bachiller Técnico

López Niño, Lesly Stefani

Universidad Santo Tomás
lesly.lopez@usantoto.edu.co
Bachiller Académico

Motta Martínez, Juan David

Universidad Santo Tomás
juan.motta@usantoto.edu.co
Bachiller Técnico

Resumen

Este artículo de investigación propone realizar un análisis comparativo variando las tres características evaluadas, que corresponden a la población, la demanda biológica de oxígeno (*DBO*) y la temperatura. Esta investigación consistió en determinar las características de las seis lagunas de estabilización facultativas para conseguir o lograr una disminución de la *DBO* presente. Se determinaron las limitantes de las lagunas mediante la realización de tablas y gráficos que representan la información mencionada, teniendo en cuenta los rangos establecidos por los autores. Los resultados permitieron evidenciar que los valores de la temperatura son importantes al calcular las variables utilizadas, ya que tiene influencia y está relacionada directamente con las mismas, como la presencia de altas y bajas poblaciones con rangos altos y bajos de *DBO*.

Palabras clave: Laguna facultativa, Población, *DBO*, Temperatura.

Abstract

The main objective of this research article is to perform a comparative analysis by varying the three characteristics evaluated, which correspond to population, biological oxygen demand (*BOD*) and temperature. This research consisted of determining the characteristics of the six facultative stabilization ponds to achieve a decrease in the *BOD* present. The limitations of the lagoons were determined by means of tables and graphs that represent the aforementioned information, taking into account the ranges established by the authors. The results showed that the temperature values are of great importance at the time of calculating the variables used since they have influence and are directly related to them, as well as the presence of high and low populations with the presence of high and low *BOD* ranges.

Keywords: Facultative lagoon, Population, *BOD*, Temperature.

Para citar este artículo: Castro Garzón, Cristian Aurelio.; López Niño, Lesly Stefani.; Motta Martínez, Juan David. "Análisis Comparativo del Impacto de las Variables de Población, *DBO* y Temperatura en Lagunas Facultativas." In *L'Esprit Ingenieux*. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

Con este trabajo de aula se pretende que los estudiantes busquen las alternativas sostenibles a los problemas ambientales de Colombia, generando un pensamiento crítico basado en aprendizaje basado en problemas (ABP), con un soporte bibliográfico y que fomenten en su quehacer la interdisciplinariedad (Acosta Castellanos *et al.*, 2018). Asimismo, se pretende contribuir desde la asignatura a cerrar los vacíos existentes en la formación y entrenamiento de los ingenieros en cuanto al desarrollo sostenible (Acosta Castellanos *et al.*, 2020; & Queiruga Dios, 2021).

Por otro lado, el agua residual es cualquier tipo de agua cuyas propiedades físicas y químicas se ven alteradas negativamente por los impactos antrópicos ocasionados por los seres humanos. Estos impactos incluye la descarga de materia orgánica o inorgánica, productos químicos, microorganismos, entre otros (Osorio *et al.*, 2021).

Es importante que estas aguas sean tratadas correctamente debido a que provienen de actividades antropogénicas, tales como procesos industriales, comerciales, residenciales, agrícolas, ganaderos, entre otras, las cuales generan desechos tóxicos, químicos, sólidos (como materia orgánica), etc., a las fuentes hídricas, y por causa de un incorrecto tratamiento genera riesgo en las especies de flora y fauna que se encuentren cerca a la efluente hídrica, además de proliferación de olores, mosquitos y roedores (Rubio Clemente *et al.*, 2013).

Adicionalmente, si las personas que se encuentren aguas abajo llegan a consumir de este recurso, corren el riesgo de que se contagien de enfermedades como la cólera, además de disentería, fiebre tifoidea, entre otras, que en muchas ocasiones sin un oportuno y buen diagnóstico y tratamiento ocasionan la muerte de las personas (Torres *et al.*, 1997). A la vez, los animales que consumen y viven que estos causan corren el mismo riesgo de contraer enfermedades, pueden presentar problemas en la calidad de vida y en su entorno natural (Larios *et al.*, 2015).

Por todo lo anterior, en Colombia se han adoptado medidas ambientales y judiciales con el fin de regular el tratamiento de aguas residuales, tales como el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales; este busca establecer estrategias del 2020 – 2050 para el manejo de aguas residuales (*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2021a), Resolución 0631 de 2015; control de las sustancias contaminantes que son descargadas a las fuentes de agua a partir de 73 actividades productivas (Camacho & Sánchez, 2016), Resolución 1256 del 2021; este busca reglamentar la reutilización de las aguas residuales en actividades agrícolas e industriales (*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2021b).

En consecuencia, en Colombia se han empleado diversas alternativas de bajos y altos costos para el tratamiento de aguas residuales, en zonas rurales y urbanas, como es el caso de los sistemas de flotación por aire cavitado (CAF), el cual se centra en eliminar las grasas antes de que estas ingresen al proceso de homogenización (Núñez & Fragoso - Castilla, 2020), las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), las cuales son las más comunes debido a que pueden ser de tipo compacto, es decir, se pueden acoplar a cualquier espacio (Morales *et al.*, 2010), los pozos sépticos son usados para almacenar, y posteriormente eliminar los residuos fecales de las viviendas (principalmente las que no cuentan con servicio de alcantarillado).

Por otro lado, hay sistemas de tratamientos no convencionales, los cuales son utilizados por su bajo costo de instalación y su bajo consumo energético, es decir son alternativas sustentables (Cortés-Martínez *et al.*, 2020). Adicionalmente, se componen de tecnologías de depuración que intentan imitar los procesos naturales que llevan a cabo los microorganismos, suelos, vegetación, etc. (Sánchez Ortiz & Matsumoto, 2012).

Una alternativa no convencional usada en Colombia son las lagunas de maduración, basadas en la eliminación de bacterias que puedan ocasionar enfermedades infecciosas (bacterias patógenas), pero el agua debe de contar con un tratamiento de aguas previo a descargarse a este proceso (Mejía Ruíz *et al.*, 2013), denominada como lagunas secundarias, generalmente llamadas lagunas primarias a las lagunas facultativas (Muñoz Arias, 2021).

Las 'lagunas facultativas' hace parte de las tecnologías de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, además de ser eficientes, fáciles de operar y limpiar, las cuales son como piscinas que se diseñan para la degradación biológica en condiciones aeróbicas y anaeróbicas con y sin presencia de oxígeno (Acosta-Castellanos & Pacheco García, 2024). Sin embargo, para el correcto funcionamiento de estas se deben de tener en cuenta los factores ambientales, concentración de oxígeno, los contaminantes que puedan contener las aguas residuales, la temperatura, entre otros parámetros (Zapata Rivera *et al.*, 2021).

Por lo anterior, en Colombia se han implementado normativas que deben de ser tenidas en cuenta al momento de diseñar, construir y operar las 'lagunas facultativas', como el Artículo 217 de la Resolución 0330 (de 2017), en la cual se menciona que se debe de realizar la caracterización operativa en los sistemas de tratamiento

de aguas residuales para así controlar y verificar la operación de la PTAR. Es por esto que en los sistemas lagunares deben de realizarse muestreos al ingreso para verificar el rendimiento de la planta (con muestras compuestas para DBO; quincenal y SST; quincenal) y el control del proceso (con muestras puntuales para pH; diario y NO₃; quincenal), y a la salida de la planta para verificar el rendimiento de la planta (con muestras compuestas para DBO; quincenal y SST; quincenal, y muestras puntuales de pH; diario, Coliformes fecales; quincenal), y el control del proceso (con muestras puntuales para NO₃; quincenal).

Por otro lado, el Artículo 218 de la Resolución 0330 (de 2017), para el mantenimiento de las lagunas de oxidación o estabilización debe de tenerse en cuenta los siguientes parámetros: después de 5 años de operación se debe de medir la capa de lodos por lo menos una vez al año (para verificar que el nivel no supere el 50% del volumen de la laguna), mantenerse libres de material flotante, controlar el crecimiento de vegetación dentro y fuera de la laguna, realizar mantenimientos constantes de taludes internos para mantener la estabilidad de estos y mantener limpias las estructuras de entrada y salida.

2. TALLER COMPARATIVO: LAGUNAS FACULTATIVAS

2.1 Metodología

Se toman en cuenta tres características a evaluar: Población (variación de los habitantes), DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y la temperatura (del mes más frío dada en °C). De las cuales, se procede a calcular las diferentes variables mediante el uso de ciertas fórmulas tomadas del libro *Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización* (2004) del autor Jairo Alberto Romero Rojas.

Las fórmulas mencionadas en el libro anterior permiten determinar variables de gran importancia para el desarrollo y solución de la problemática evaluada, que es comparar el comportamiento de las características iniciales al realizar variaciones de cada una de las tres (Ej.: Uso de población con rangos bajos, *DBO* con rangos altos y la temperatura baja). Algunas de las fórmulas usadas para el desarrollo de este trabajo se presentan a continuación:

En primer lugar, se procede a calcular la carga superficial máxima (*CSM*) (Romero, 2004):

$$CSM = 60.3(1.0993)^T$$

donde, *T* representa el valor de la temperatura del mes más frío dado en °C.

Luego, se determina el área superficial (*A*) teniendo en cuenta el valor de la carga superficial máxima (Romero, 2004):

$$A = \frac{Q \times DBO}{1000 \times CSM}$$

donde, *Q* representa el caudal, *DBO* representa la demanda biológica de oxígeno y *CSM* representa la carga superficial máxima.

Después, se calcula el tiempo de retención hidráulica (θ_h) (Romero, 2004):

$$\theta_h = \frac{A \times H}{Q}$$

donde *A* representa el área superficial, *Q* representa el caudal y *H* representa la profundidad útil de la laguna.

Posteriormente, se calcula la carga volumétrica orgánica (*VLR*) (Romero, 2004):

$$VLR = \frac{DBO \times Q}{A \times H}$$

donde *DBO* representa la *demanda biológica de oxígeno*, *Q* representa el caudal, *A* representa el área superficial y *H* representa la profundidad útil de la laguna.

Seguidamente, se calcula la carga orgánica superficial removida (*COR*), teniendo en cuenta el valor de la carga superficial máxima (Romero, 2004):

$$COR = 10.35 + 0.752(CSM)$$

donde, *CSM* representa la carga superficial máxima.

Luego, se calcula la eficiencia de remoción (*E*) (Romero, 2004):

$$E = \frac{COR}{CSM}$$

donde *COR* representa la *carga orgánica superficial removida* y *CSM* la *carga superficial máxima*.

Después, se realiza un proceso de ajuste o de corrección, en donde se obtiene un valor de remanente (*E_r*) teniendo en cuenta los valores obtenidos de la eficiencia de remoción (Romero, 2004):

$$E_r = 100 - E$$

contexto donde *E* representa la eficiencia de remoción.

Seguidamente, se calcula la carga orgánica del efluente primario (*CO1*) (Romero, 2004):

$$CO1 = DBO \times Q \times E_r$$

donde *DBO* representa la demanda biológica de oxígeno,

Q representa el caudal y *E_r* representa el remanente.

Posteriormente, se calcula la carga orgánica corregida (CO1c) (Romero, 2004):

$$CO1_c = CO1 \times 2.$$

donde CO1 representa la *carga orgánica del efluente primario*.

Nota: A este procedimiento se le conoce como corrección por relación de DBO soluble. Antes de culminar con el desarrollo se debe tener en cuenta una cosa, y es que se debe tomar un valor de CSM inferior al valor obtenido en la primera ecuación y a su vez debe

ser igual al valor de CO1c, y con esa información clave, se procede a realizar nuevamente los respectivos cálculos de las variables hasta llegar a la eficiencia, partiendo desde el área superficial (A) hasta la eficiencia de remoción (E).

Finalmente, se calcula la eficiencia global del sistema (Et) (Romero, 2004):

$$E_t = 1 - (1 - E_1)(1 - E_2)$$

donde E1 representa la eficiencia de remoción 1 y E2 representa la eficiencia de remoción 2.

2.2. Resultados

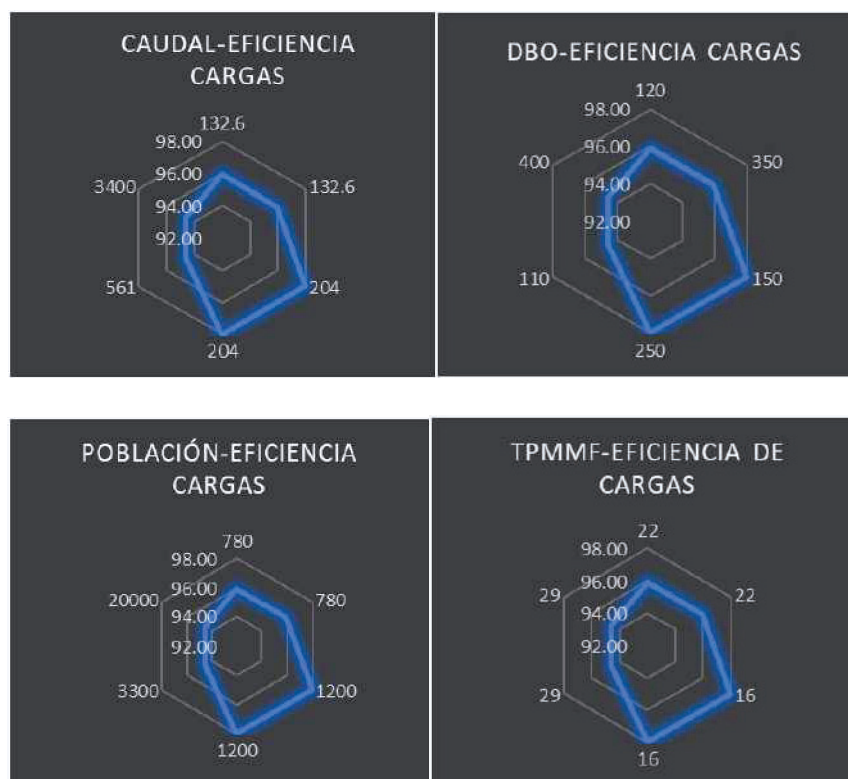
Tabla 1. Datos Inalterados						
	Caudal (m3/día)	DBO (mg/lit)	Habitantes	TPMMF(°C)	EFICIENCIA DBO (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	132.6	120	780	22	126.29	95.91
Población 2	132.6	350	780	22	104.92	95.91
Población 3	204	150	1200	16	111.13	97.99
Población 4	204	250	1200	16	104.36	97.99
Población 5	561	110	3300	29	101.87	94.59
Población 6	3400	400	20000	29	93.86	94.59

A partir del diseño de *Lagunas Facultativas*, mediante el método de McGarry y Pescod, se tuvieron en cuenta los datos anteriores y se hizo una comparación entre las diversas variables, y su incidencia en la eficiencia de remoción de contaminantes del método. Para este caso fue empleada la eficiencia por *DBO Soluble* además de una Relación de Cargas.

EFICIENCIA DBO



EFICIENCIA CARGAS



A continuación, fueron utilizados *valores semilla* a los cuales se les hizo una previa modificación, contexto donde se establecieron rangos para Población, Caudal, DBO y TPMMF, siendo estos los siguientes:

Tabla 2. Rangos de Modificación

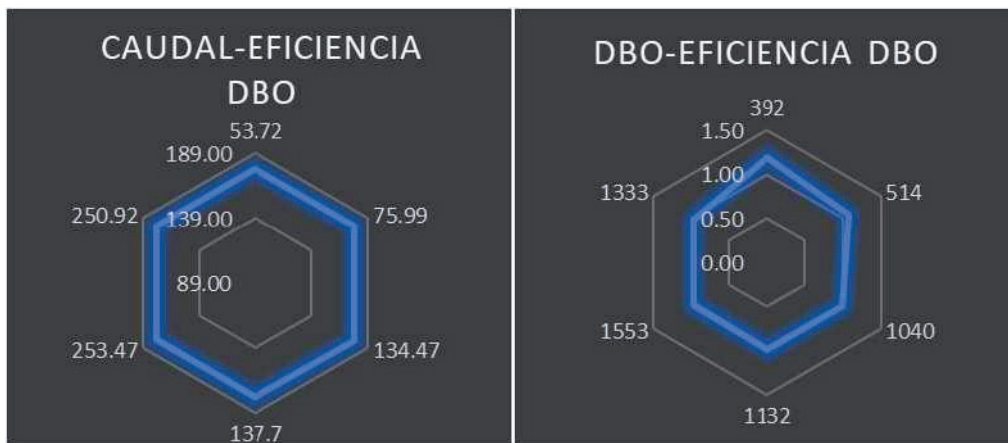
Rango	Temperatura	Población (Hab)	Dotación*Hab(m3/Día)	DBO (mg/lit)
Bajo	5 a 15°	200-750		RANGO 200-750
Inter-medio	16 a 25°	751-1200	0.2	751-1200
Alto	26 a 35°	1 2 0 1 - 1600		1201-1600

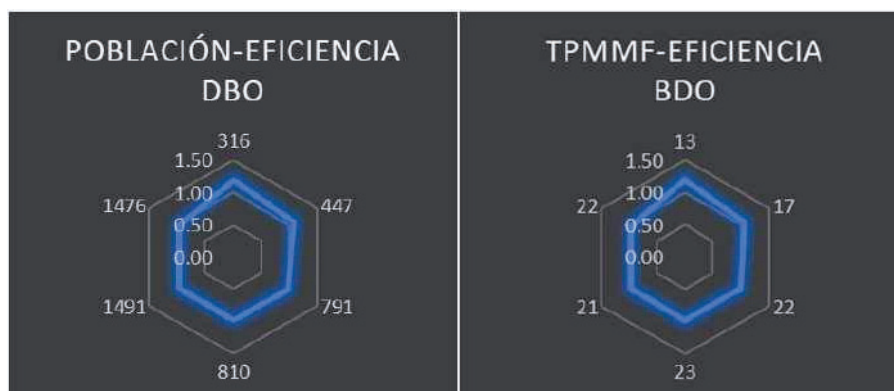
Para el primer caso fue determinado el rango de temperaturas para clima *Frío*, establecido entre 5 a 15°, ámbito donde se analizó la varianza de las eficiencias con respecto a las diversas poblaciones delimitadas en los rangos de *Bajo*, *Intermedio* y *Alto*.

Tabla 3. Datos Alterados Clima Frío

	Caudal (m3/día)	DBO (mg/lit)	Habitantes	TPMMF(°C)	EFICIENCIA DBO (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	53.72	392	316	13	1.19	1.00
Población 2	75.99	514	447	17	1.08	1.00
Población 3	134.47	1040	791	22	0.99	1.02
Población 4	137.7	1132	810	23	0.98	1.01
Población 5	253.47	1553	1491	21	0.96	1.02
Población 6	250.92	1333	1476	22	0.96	0.98

EFICIENCIA DBO





EFICIENCIA CARGAS

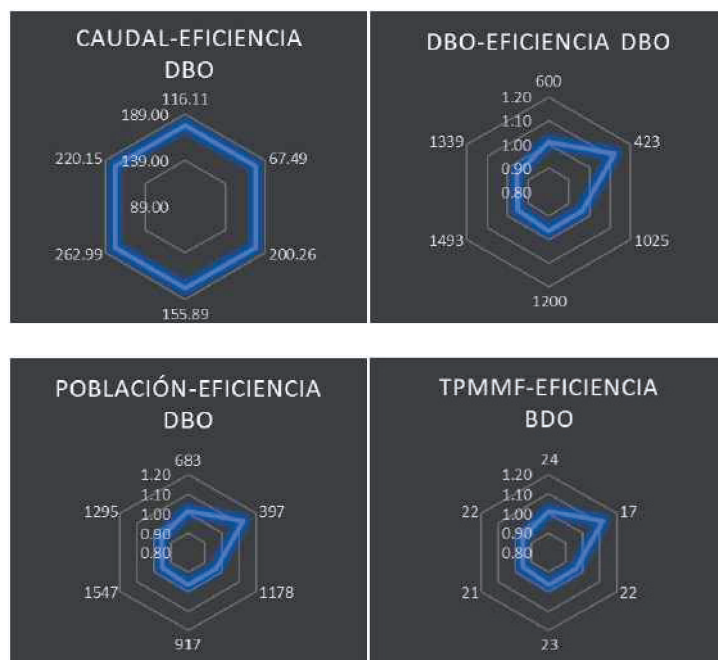


Para el segundo caso fue determinado el rango de temperaturas para clima *Templado* (establecido entre 16 a 25°), ámbito donde se analizó la varianza de las eficiencias respecto de las diversas poblaciones delimitadas en los rangos de *Bajo*, *Intermedio* y *Alto*.

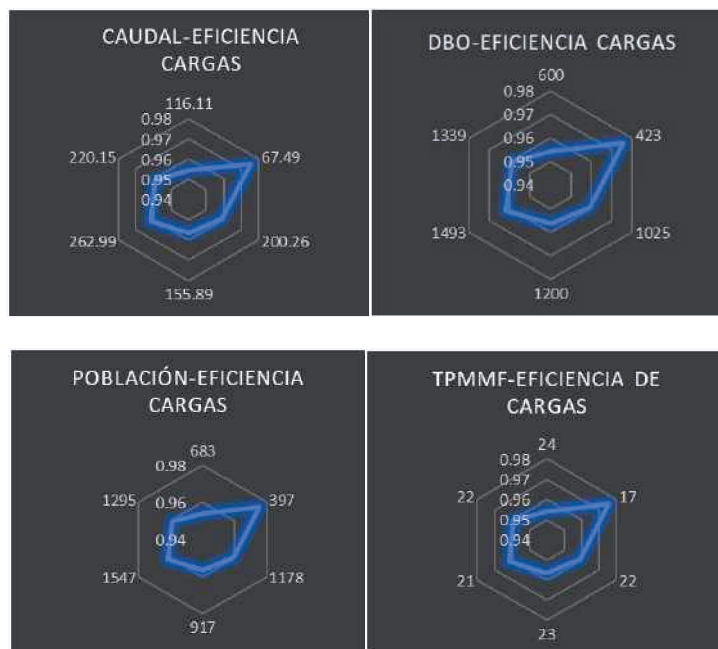
Tabla 4. Datos Alterados Clima Templado						
	Caudal (m 3 / día)	D B O (mg / lt)	Habitantes	TPMMF (°C)	EFICIENCIA DBO (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	116.11	600	683	24	1.01	0.95
Población 2	67.49	423	397	17	1.12	0.98
Población 3	200.26	1025	1178	22	0.96	0.96

Población 4	155.89	1200	917	23	0.96	0.96
Población 5	262.99	1493	1547	21	0.95	0.96
Población 6	220.15	1339	1295	22	0.96	0.96

EFICIENCIA DBO



EFICIENCIA CARGAS



Para el último caso fue determinado el rango de temperaturas para clima *Caliente* (establecido entre 26 a 35°), ámbito donde se analizó la varianza de las eficiencias respecto a las diversas poblaciones delimitadas en los rangos de *Bajo*, *Intermedio* y *Alto*.

Tabla 5. Datos Alterados Clima Caliente						
	Caudal (m3/día)	DBO (mg/lit)	Habitantes	TP- MMF(°C)	EFICIENCIA DBO (%)	EFICIENCIA CARGAS (%)
Población 1	86.02	274	506	29	1.15	0.95
Población 2	65.45	658	385	33	1.05	0.94
Población 3	143.31	1181	843	31	0.96	0.94
Población 4	157.59	751	927	31	0.98	0.94
Población 5	222.7	1293	1310	29	0.95	0.95
Población 6	246.84	1208	1452	26	0.95	0.95

EFICIENCIA DBO



EFICIENCIA CARGAS





3. CONCLUSIONES

Cuando la cantidad de *DBO* es alto y un caudal bajo, el método de *DBO soluble* deja de ser eficiente y se debe de usar el cálculo por relación de cargas. Por otro lado, en la realidad nunca se va a presentar una eficiencia del 100% en las lagunas facultativas.

A partir de los resultados obtenidos, para los datos inalterados, se obtiene que el cálculo de eficiencia por relación de cargas demuestra ser más efectivo que el cálculo por *DBO soluble*, ya que este último presenta eficiencias superiores al 100 %. Adicionalmente, al momento de presentar un clima frío y una población elevada, sólo el método de *DBO soluble* presenta eficiencias aceptables, pues el cálculo por relaciones de cargas presenta valores del 100 % en adelante.

Por último, la temperatura es un valor fundamental a la hora de realizar los cálculos, ya que estos contribuyen con el aumento o disminución de la carga superficial máxima, y a su vez, si el aumento de la población no es acompañado por un aumento en la dotación, los valores de eficiencia, área superficial y carga superficial máxima, seguirán siendo similares.

REFERENCIAS

- Acosta Castellanos, P. M.; Guerrero Sierra, H. & Vega, M. E. (2018). *Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: una mirada desde Colombia*. Ediciones USTA.
- Acosta Castellanos, P. M. & Queiruga Dios, A. (2021). "From environmental education to education for sustainable development in higher education: A systematic review". *International Journal of Sustainability in Higher Education*, ahead-of-p(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2021-0167>
- Acosta Castellanos, P. M.; Queiruga Dios, A.; Hernández Encinas, A. & Ortegón, A. C. (2020). Analysis of environmental sustainability educational approaches in engineering education. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*. <https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140919>
- Acosta-Castellanos, P. M. & Pacheco-García, B. H. (2024). "Alternativa a la corrección de la eficiencia por *DBO soluble* en lagunas de estabilización". *Revista L'Esprit Ingénieurs*, 13(1), 76-87. Recuperado a partir de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieurs/article/view/3024>

- Camacho, J. C. E. & Sánchez, J. C. (2016). "Publicación de cartilla sobre Resolución 0631 de 2015 acerca de vertimientos". *Boletín El Palmicultor*, 10–11.
- Cortés-Martínez, F.; Treviño-Cansino, A.; Aracelia Alcorta García, M. & Vélez, J. G. L. (2020). "Graphic design for organic matter and retention time in facultative lagoons | Diseño gráfico para la materia orgánica y el tiempo de retención en lagunas facultativas". *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(2), 158–189. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-02-04>
- Larios, F.; González, C. & Morales, Y. (2015). "Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú". *Saber y Hacer: Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(2), 9–25. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Mejía Ruíz, R.; Aguirre, N.; Correa Restrepo, G. & Cuervo Fuentes, H. (2013). "Monitoring of the stabilization ponds system in Santa Fé de Antioquia, Colombia". *Scielo*, 7(2), 36–51. <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/263>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021a). Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales. En Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021b). Resolución 1256 de 2021. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, 1–6. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>
- Morales, R. S., Domínguez, E. R., & Mata, M. M. (2010). Stochastic evaluation of stabilization ponds. Application to primary facultative ponds in the province of Villa Clara (Cuba) | Evaluación estocástica de lagunas de estabilización. Aplicación a lagunas facultativas primarias en la provincia de Villa Clara C. *Afinidad*, 67(547), 198–202.
- Muñoz Arias, V. K. (2021). Tratamiento de aguas residuales del procesamiento pesquero artesanal mediante lagunas facultativas para disminuir el impacto ambiental. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 3(1), 1689–1699. Disponible en: <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>
- Núñez, J. C. & Fragoso-Castilla, P. J. (2020). "Uso de macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de las lagunas de estabilización El Salguero (Colombia)". *Información Tecnológica*, 31(3), 277–284. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300277>
- Osorio, R. M. A.; Carrillo, B. W. E.; Costales, N. J. H.; Riera, G. E. J. & Loo, L. X. A. (2021). "La calidad de las aguas residuales domésticas". *Polo del Conocimiento*, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Rubio Clemente, A.; Chica Arrieta, E. L. & Peñuela Mesa, G. A. (2013). "Wastewater treatment processes for the removal of emerging organic pollutants". *Ambiente y Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(3), 93–103. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1176>
- Sánchez Ortiz, A. I. & Matsumoto, T. (2012). "Performance evaluation of the ILHA Solteira's city (SP) sewage treatment plant by primary facultative ponds". *Ingeniería y Desarrollo*, 30, 199–222.

Resolución 0330 de 2017, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. República de Colombia. 182 (2017). <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf>

Torres, J. J.; Soler, A.; Sáez, J. & Ortuno, J. F. (1997). "Hydraulic performance of a deep wastewater stabilization pond". *Water Research*, 31(4), 679–688. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00293-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00293-X)

Zapata Rivera, A. M.; Ducoste, J.; Peña, M. R. & Portapila, M. (2021). "Computational fluid dynamics simulation of suspended solids transport in a secondary facultative lagoon used for wastewater treatment". *Water (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/w13172356>

Investigación y Educación en Enfermería. (2007). "El resumen de un artículo científico: Qué es y qué no es". 25 (1), 14-17. Recuperado el 10 de Marzo de 2016, de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-53072007000100001&lng=en&tling=es

Romero, R. J. (Romero Rojas, J. A.) (2000). "Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización" (1ª ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN: 9701504038. de 2004).

Universidad del Rosario. (10 de marzo de 2016). *Ciencias humanas - guías de calidad académica*. Recuperado de <http://www.urosario.edu.co/cienciashumanas/GuiasdeCalidad-Academica/49c/>