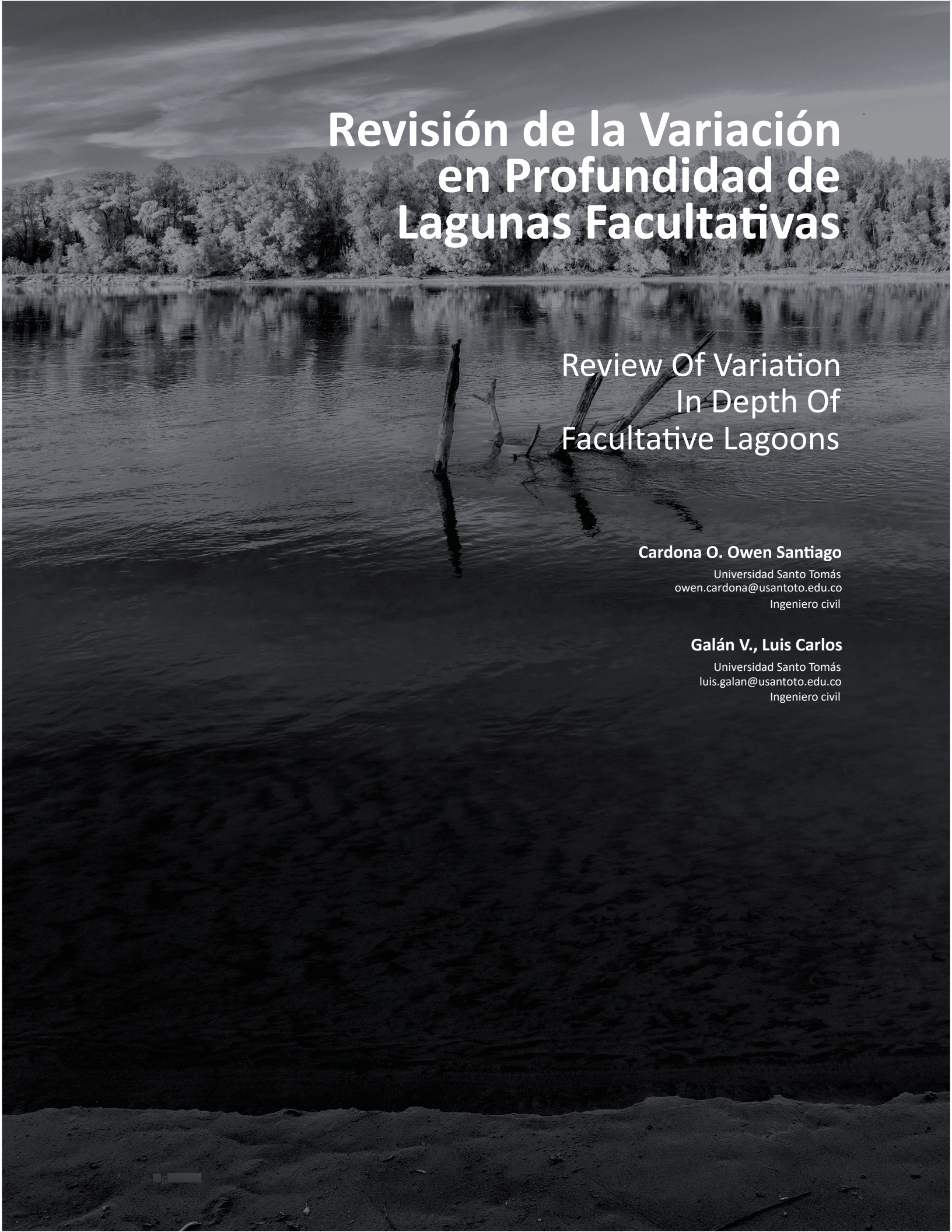




# Revisión de la Variación en Profundidad de Lagunas Facultativas

## Review Of Variation In Depth Of Facultative Lagoons

**Cardona O. Owen Santiago**

Universidad Santo Tomás  
owen.cardona@usantoto.edu.co  
Ingeniero civil

**Galán V., Luis Carlos**

Universidad Santo Tomás  
luis.galan@usantoto.edu.co  
Ingeniero civil



## Resumen

Las lagunas de estabilización y específicamente las facultativas brindan una solución óptima para el tratamiento de aguas residuales, enfocándose en la remoción del *DBO* a partir de diferentes procesos naturales y elementos prediseñados. Al momento de analizar los factores que asumen mayor relevancia en cuestión de proyectar una *laguna facultativa* se encontró la importancia del tiempo de retención con respecto a la profundidad con la cual se diseña la laguna. Teniendo en cuenta estos valores se obtuvo que es directamente proporcional el valor del tiempo de retención con respecto a la profundidad puesto que se genera un crecimiento lineal, y de esta forma se analiza la posibilidad de estudiar la profundidad más detenidamente, previo a la construcción de una laguna con el fin de obtener tiempos de retención adecuados y eficacia en la depuración del agua tratada.

**Palabras clave:** Lagunas facultativas, Retención, Hidráulica, Profundidad.

## Abstract

Stabilization ponds, and facultative ponds specifically, provide an optimal solution for wastewater treatment, focusing on the removal of *BOD* through various natural processes and pre-designed elements. When analyzing the factors that are most relevant in designing a facultative pond, the importance of retention time in relation to the depth at which the pond is designed was found. Taking these values into account, it was determined that the retention time is directly proportional to the depth, resulting in linear growth. This way, the possibility of studying the depth in more detail prior to the construction of a pond is analyzed in order to obtain appropriate retention times and efficiency in the purification of treated water.

**Keywords:** Facultative lagoons, Retention, Hydraulics, Depth.

Para citar este artículo: Cardona O., Owen Santiago y Galán V., Luis Carlos. "Revisión de la variación en profundidad de Lagunas Facultativas." In *L'Esprit Ingenieur*. Vol. 13-1, pp. X-X.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con este trabajo de aula se propone 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 sólido 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; Acosta Castellanos & Queiruga Dios, 2021).

Las lagunas que conocemos de estabilización son pozos diseñados y construidos en la tierra, donde se busca que se presente un proceso de tratamiento de agua gracias a los procesos naturales y a la intervención de diferentes factores como las algas y las bacterias. Este tratamiento se genera gracias a diferentes procesos, los cuales van relacionados con respecto al tiempo y a la eliminación del porcentaje de *DBO* de manera muy eficiente, teniendo también en cuenta que pueden ser de bajo costo; este proceso es logrado gracias a una oxidación bacteriológica y también intervención de las algas en la parte inferior de la laguna. Además, no requieren el uso de energía externa, ya que sólo requiere la luz solar como fuente única de energía para la realización de sus procesos (Kellner E. y Pires E. C., 1998).

Las *lagunas facultativas*, por otra parte, son las que tienen diferentes zonas en su composición y esta es una zona aerobia y anaerobia, las cuales se ubican en la parte superior e inferior, respectivamente. Adicional a esto en la parte intermedia de la laguna podemos encontrar una zona denominable facultativa. En este tipo de lagunas la producción de oxígeno se debe gracias a la actividad fotosintética que realizan las algas y una aireación que se presenta en la superficie; adicional a esto la degradación de la materia orgánica se da gracias a la acción metabólica de las bacterias en condiciones en las que existe presencia de oxígeno y en las que no también (Kellner E y Pires E. C., 1998).

El propósito principal de estas lagunas facultativas es realizar una remoción del *DBO* (*Demanda Bioquímica de Oxígeno*), usando el aprovechamiento de los organismos que mencionamos anteriormente. Este tipo de lagunas también contribuye a la remoción de diferentes patógenos gracias a los grandes periodos de retención hidráulicos planeados en el diseño, resultante de dividir el volumen de la laguna por el caudal de agua que recibe (Acosta Castellanos & Pacheco García, 2024). Es importante tener en cuenta que el tiempo de retención es realmente significativo cuando todo el material que entra permanece en la laguna por el tiempo establecido puesto que muchas veces hay una diferencia importante en la que una parte del fluido permanece más tiempo; la parte que atraviesa la laguna en un periodo de tiempo más corto alcanza un grado menor de estabilidad, generando una notoria disminución en la eficacia de la depuración (Peña V. M. y Mara D., 2004).

Ahora bien, la profundidad para el diseño de las *lagunas facultativas* es de gran utilidad porque define los límites para el desarrollo adecuado de los procesos al interior de la laguna: con respecto al límite inferior es preciso tener en cuenta una profundidad adecuada, puesto que se debe analizar la proyección de crecimiento

de la vegetación y, en cuanto al límite superior, las profundidades que tienen un rango menor a dos metros asumen el objetivo de limitar una posible zona de estratificación (Peña V. M. y Mara D., 2004).

El propósito de este trabajo apunta al fin de analizar las condiciones de una laguna de estabilización facultativa para suplir las necesidades de una población específica y que tiene ciertas características establecidas tales como los habitantes, la temperatura promedio del lugar y un *DBO* preestablecido. El objetivo primordial es un análisis de estos datos para estudiar el comportamiento de estas lagunas con diferentes valores como los mencionados anteriormente.

Nuestro enfoque será entonces analizar el diseño y la construcción de una laguna de estabilización facultativa, realizando una variación de la profundidad para el diseño de la laguna con el fin de analizar el tiempo de retención del agua, mediante el cual se puede obtener una remoción de patógenos debido a largos periodos de retención hidráulica, la cual permite entre otras cosas la sedimentación de seres como helmintos y la mortalidad de estas mismas. Adicionalmente, se tienen en cuenta los rayos ultravioletas de la energía solar y también el aumento del *PH* por el trabajo de las algas.

## 2. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este artículo de revisión teórica, se siguen tres etapas o momentos distintos: la definición del problema a abordar, la búsqueda de información adicional relacionada con el proyecto y, por último, la organización y análisis de la información recopilada.

En la primera etapa, se establece la problemática objeto de análisis: el uso de *lagunas facultativas* como solución a los problemas de tratamiento de

aguas residuales. En una segunda fase, se lleva a cabo una exhaustiva consulta bibliográfica en busca de documentos y artículos actuales relacionados con el tema. Siguiendo un enfoque deductivo, se comienza con conceptos generales como el tratamiento de aguas residuales, para luego profundizar en el concepto de *lagunas facultativas*. Asimismo, se recopila información sobre parámetros de diseño, eficiencia de remoción de contaminantes, ventajas, desventajas, funcionamiento y aplicaciones. Todo esto se realiza con el objetivo de enriquecer la teoría asociada a la problemática que se está analizando. Y, del mismo modo, se revisan antecedentes y se exploran conceptos relevantes para comprender mejor su funcionamiento. A medida que se recopila esta información, se avanza hacia la siguiente etapa: la organización de la información. En esta fase, se seleccionan los artículos más pertinentes y se extraen los fundamentos teóricos que aportan significativamente a la obra de análisis. Todo esto conduce a la última etapa de análisis, en la que se identifica la aplicabilidad y pertinencia de las *lagunas facultativas* en diversas situaciones de tratamiento de aguas residuales.

## 3. USO DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS COMO SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A decir verdad, las *lagunas facultativas*, son estructuras que se emplean para el tratamiento de aguas residuales usando procesos naturales de descomposición de las bacterias. Con respecto a los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales, tales lagunas operan en condiciones anaeróbicas, lo que significa que no requieren suministro de oxígeno (Tchobanoglous y Schroeder, 1985).

Más aún, el funcionamiento de las lagunas facultativas se basa en la actividad de microorganismos

anaeróbicos presentes en el agua residual. Estos microorganismos descomponen la materia orgánica, convirtiéndola en productos estables, como el gas metano y la biomasa. Este proceso de tratamiento puede lograr una considerable reducción de la carga orgánica y de patógenos, lo que contribuye a la mejora de la calidad del agua (Tchobanoglous y Schroeder, 1985).

#### 4. VENTAJAS DEL USO DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS

El bajo costo de construcción y operación en las *lagunas facultativas* es una de sus ventajas, puesto que requieren inversiones iniciales más bajas en comparación con sistemas convencionales, y sus costos de operación y mantenimiento son menores debido a la falta de requerimientos de energía para la aireación (Metcalf y Eddy, 2003).

Los requerimientos de energéticos son reducidos, puesto que, al operar en condiciones anaeróbicas, las lagunas facultativas consumen significativamente menos energía que los sistemas aeróbicos (Metcalf y Eddy, 2003). Por otra parte, la eficiencia en la remoción de materia orgánica es otra característica que poseen las *lagunas facultativas*, ya que pueden lograr una eficiente remoción de materia orgánica, reduciendo la carga contaminante del agua tratada (Metcalf y Eddy, 2003).

En consecuencia, las *lagunas facultativas* cuentan con una resistencia a fluctuaciones de carga, ya que estas son robustas y pueden manejar variaciones en la carga de aguas residuales, lo que las hace adecuadas para áreas con variaciones en la fluctuación o en otros casos y eventos de lluvia intensa (Metcalf y Eddy, 2003).

#### 5. VARIABLES A ANALIZAR

##### 5.1. Profundidad de la Laguna

La profundidad de la laguna es un factor muy importante en el diseño. Efectivamente, una profundidad adecuada permite la separación de los sólidos sedimentables y garantiza que el efluente final sea de calidad aceptable. La profundidad suele oscilar entre 0.5 y 3 metros, dependiendo de las condiciones locales y la carga orgánica (Mara y Pearson, 1998).

##### 5.2. Relación Anchura - Longitud

La relación entre la anchura y la longitud de la laguna es importante para proporcionar un flujo adecuado y una distribución uniforme del agua residual. Se busca evitar zonas muertas y asegurar que el agua se mueva a través de la laguna de manera eficiente. Las relaciones típicas varían, pero una relación de 1:2 a 1:3 suele ser efectiva (Matos, 2006).

##### 5.3 Relación entre el tiempo de retención hidráulico y la profundidad de la laguna

El tiempo de retención hidráulico es un parámetro crítico en el diseño de *lagunas facultativas* para el tratamiento de aguas residuales, y su relación con la profundidad de la laguna es fundamental para garantizar un rendimiento adecuado del sistema (Mara y Pearson, 1998).

Así las cosas, la relación entre el tiempo de retención hidráulico y la profundidad de la laguna se establece de manera inversamente proporcional. Esto significa que a mayor profundidad de la laguna, se logrará un tiempo de retención hidráulico más largo. En otras palabras, si se desea aumentar el tiempo que el agua residual permanece en la laguna, esto se puede lograr aumentando la profundidad de la laguna, y si se desea un tiempo de retención hidráulico más corto, se puede reducir la profundidad (Reed y Crites, 1984).

La relación entre tiempo de retención hidráulico y profundidad es crucial porque afecta directamente la eficiencia del proceso de tratamiento. Asimismo, un tiempo de retención hidráulico más largo permite una mayor exposición de las aguas residuales a los microorganismos anaeróbicos presentes en la laguna, lo que puede resultar en una mejor descomposición de la materia orgánica y una mayor remoción de contaminantes. Sin embargo, un tiempo de retención hidráulico excesivamente largo puede causar problemas, como la acumulación de sólidos sedimentables y la falta de oxígeno disuelto, lo que puede afectar negativamente el proceso anaeróbico (Reed y Crites, 1984).

Por otro lado, un tiempo de retención hidráulico más corto, logrado mediante una menor profundidad de la laguna, puede ser apropiado en situaciones donde se requiere una remoción más rápida de los contaminantes o cuando el flujo de aguas residuales es elevado. Sin embargo, en este caso, es importante asegurarse de que el tiempo de retención hidráulico aún sea suficiente para permitir la degradación adecuada de la materia orgánica (Sperling, 2007).

### 5.3.1 Resultados en el ejercicio de la variación de la profundidad con respecto al tiempo de retención hidráulico

Teniendo datos supuestos iniciales de cantidad de habitantes, DBO y la temperatura del municipio, se procede a realizar el cálculo de los parámetros de una laguna facultativa empleando el método de McGarry y Pescot.

| Población 1 |      |                   | Población 2 |      |                   | Población 3 |      |                   |
|-------------|------|-------------------|-------------|------|-------------------|-------------|------|-------------------|
| Habitantes  | 780  | Hab               | Habitantes  | 780  | Hab               | Habitantes  | 1200 | Hab               |
| DBO         | 120  | mg/Lt             | DBO         | 350  | mg/Lt             | DBO         | 150  | mg/Lt             |
| DBO         | 0,12 | Kg/m <sup>3</sup> | DBO         | 0,35 | Kg/m <sup>3</sup> | DBO         | 0,15 | Kg/m <sup>3</sup> |
| Temperatura | 22   | °C                | Temperatura | 22   | °C                | Temperatura | 16   | °C                |
| Población 4 |      |                   | Población 5 |      |                   | Población 6 |      |                   |
| Habitantes  | 1200 | Hab               | Habitantes  | 6300 | Hab               | Habitantes  | 8700 | Hab               |
| DBO         | 250  | mg/Lt             | DBO         | 110  | mg/Lt             | DBO         | 400  | mg/Lt             |
| DBO         | 0,25 | Kg/m <sup>3</sup> | DBO         | 0,11 | Kg/m <sup>3</sup> | DBO         | 0,4  | Kg/m <sup>3</sup> |
| Temperatura | 16   | °C                | Temperatura | 29   | °C                | Temperatura | 29   | °C                |

Fig. 1. Datos iniciales de cada población.

Al realizar la variación la profundidad con los parámetros dados en cada una de las poblaciones, encontramos un comportamiento lineal en el incremento del tiempo de retención hidráulico a medida que se aumenta la profundidad de la laguna.

Se toman variaciones de profundidad de 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 metros. A continuación, se observa el comportamiento de dicha variación para la población 1 y 4.

Y se calcula el método:

- Cálculo de caudales:

$$Q = 0,85 * 200 \frac{l}{Hab * dia} * Hab$$

(Mc Garry Pescod, 1988).

(Mc Garry Pescod, 1988).

- Carga orgánica del remanente:

$$CO_1 = DBO * Q * Er$$

(Mc Garry Pescod, 1988).

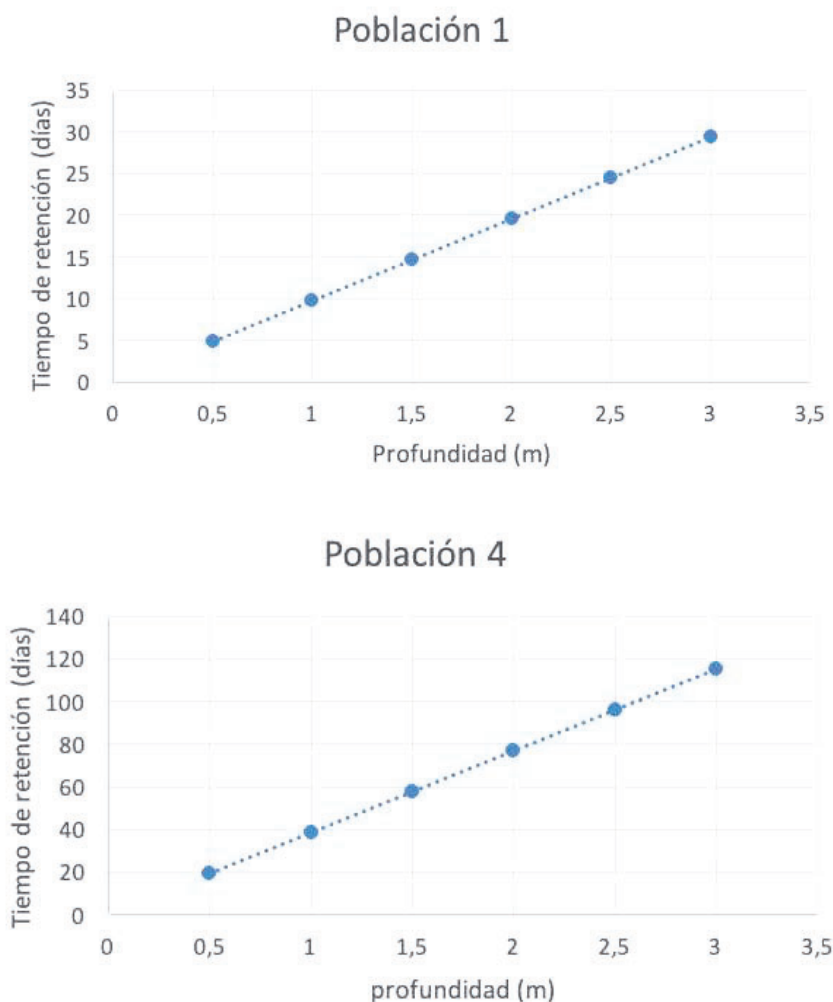
(Mc Garry Pescod, 1988).

- Carga orgánica del remanente:

$$(1)CO_1C = (CSM - COR) \text{ ó } (2)CO_1C = CO1 * 2$$

(Mc Garry Pescod, 1988).

(Mc Garry Pescod, 1988).



**Fig. 2. Gráfica variación, Tiempo de retención versus Profundidad.**

Se observa un incremento en el tiempo de retención a medida que aumenta la profundidad de la *laguna facultativa*, que claramente va ligado a la cantidad de habitantes que tiene la población, y consecuentemente al caudal que produce dicha



población. Por esa razón se observa en la *población 1* un mínimo de 5 días de retención con una profundidad de 0.5 metros y un máximo de retención de 30 días con una profundidad de 3 metros, y en el caso de la *población 4* un mínimo de 20 días con una profundidad de 0.5 metros y un máximo de retención de 120 días con una profundidad de 3 metros.

Es claro que al observar un aumento del tiempo de retención es favorable, ya que permite que los microorganismos anaeróbicos estén mucho más tiempo en contacto con el agua a tratar, lo cual genera un aumento en la productividad de la laguna, pero es de igual importancia tener en cuenta que la laguna -al ser muy profunda- también generará acumulación de lodos, que podría causar la falta de oxígeno disuelto y afectar el proceso; lo cual va directamente ligado a la aparición de costos, pues es de suma importancia para la población que desea implementar una *laguna facultativa* como tratamiento a sus aguas residuales.

## 6. RELACIÓN DE COSTOS CON RESPECTO A LA PROFUNDIDAD DE LA LAGUNA

Existe un aspecto relevante que debe ser tenido en cuenta en el diseño y planeación de un proyecto que involucre tratamiento de aguas residuales, que consiste en la relación entre la profundidad de la laguna y sus costos de realización. De esta manera, deben tenerse en cuenta los factores importantes en dicha relación (Sperling, 2007).

A mayor profundidad, mayor excavación. Esto quiere decir que, conforme se aumenta la profundidad de la laguna, en la mayoría de veces esto requiere una excavación de una mayor área proporcional a la profundidad deseada. Asimismo, los costos aumentan

en cuanto al factor de excavación y, por supuesto, los materiales excavados (García, 2007).

Adicionalmente, existe una relación proporcional en cuando a la profundidad y el volumen de construcción. De hecho, las lagunas menos profundas necesitan menos material de construcción que evita la infiltración de agua subterránea, tales como el concreto, geomembranas, para abastecer las paredes de la laguna. Por lo tanto, la carencia de profundidad reducirá igualmente los costos del proyecto (García, 2007).

Finalmente, en términos de costos, el mantenimiento de las lagunas puede llegar a definirse por su profundidad. De esta manera, se afirma que las lagunas más profundas requieren un mantenimiento más exhaustivo, más tiempo y más esfuerzo en su limpieza, además de requerimientos como su inspección periódica. Asimismo, es válido afirmar que las lagunas de menor profundidad requieren de menos costo en su mantenimiento (Mara y Pearson, 1988).

## 7. CONCLUSIONES

Por lo demás, las *lagunas facultativas* representan una alternativa valiosa y sostenible en el tratamiento de aguas residuales. Su simplicidad, eficiencia y costos reducidos las convierten en una opción atractiva para abordar los problemas de tratamiento de aguas residuales en diversas aplicaciones. A medida que la conciencia ambiental y la búsqueda de soluciones sostenibles continúan creciendo, este prototipo se posiciona como una herramienta esencial en la gestión de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente.

A todas luces, el diseño de *lagunas facultativas* para el tratamiento de aguas residuales requiere una cuidadosa consideración de varios parámetros clave. La selección adecuada



de estos parámetros garantiza que la laguna funcione de manera eficiente y cumpla con los estándares ambientales.

En resumen, la relación entre el tiempo de retención y la profundidad de la laguna es una consideración esencial en el diseño, y debe equilibrarse cuidadosamente para lograr un rendimiento óptimo del sistema de tratamiento de aguas residuales. La elección de esta relación depende de las condiciones específicas del sitio y de los objetivos de tratamiento.

Finalmente, la relación entre la profundidad de la laguna y los costos de su realización es compleja y depende de varios factores, incluida la geología del sitio, las condiciones ambientales, los requisitos de diseño y las regulaciones locales. En la fase de diseño de un proyecto de tratamiento de aguas residuales, es esencial realizar un análisis de costos detallado que tenga en cuenta estos factores para tomar decisiones informadas sobre la profundidad óptima de la laguna.

## REFERENCIAS

Acosta Castellanos, P. M.; Guerrero Sierra, H. & Vega, M. E. (2018). *Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: Una mirada desde Colombia*. Ediciones USTA. <http://hdl.handle.net/11634/22658>

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 Ingénieux*, 13(1), 76-87. Recuperado de: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/3024>

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-print). Recuperado de: <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. Recuperado de: <https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140919>

García, J., & Magri, A. (2007). Lagunas de estabilización: Manual de diseño y operación. Comisión Nacional del Agua. Retrieved from <https://www.cna.gob.mx>.

Kellner E.; Pires E. C. (1998). "Lagoas de estabilização, projeto e operação". Rio de Janeiro: *Abes*, pp. 13-17, 28-36, 48-59.

Matos, T. R. & Von Matos, M. (2006). "Variations in Pond Depth and Design: Impact on the Performance of Waste Stabilization Ponds." *Fal-tan datos bibliográficos ¿???*

Mara, D., & Pearson, H. W. (1998). Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries. Leeds, UK: Lagoon Technology International.

Metcalf & Eddy, Inc., & Tchobanoglous, G. (2003). Wastewater engineering: Treatment and reuse. Boston, MA: McGraw-Hill.

Peña, V. M., & Mara, D. (2004). Waste stabilisation ponds. The Netherlands: IRC International Water and Sanitation Centre.

Reed, S. C., & Crites, R. W. (1984). Natural systems for waste management and treatment. New York, NY: McGraw-Hill.

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

Silva S. A., Mara D. D. (1976). *Tratamentos biológicos de águas residuárias: Lagoas de estabilização*. Rio de Janeiro: Ed. Abes. 140 p.

Tchobanoglous, G., & Schroeder, E. D. (1985). Water quality: Characteristics, modeling and modification. Reading, MA: Addison-Wesley.

Von Sperling, M. (2007). Introduction to wastewater treatment processes. London, UK: IWA Publishing.