

# ANÁLISIS COMPARATIVOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAGUNAS FACULTATIVAS

Comparative analysis of the characteristics of facultative lagoons

**Gómez P., Astrid Dayana**

astrid.gomez@usantoto.edu.co

Ingeniera Civil

**Goyeneche C., Juana Valentina**

juana.goyeneche@usantoto.edu.co

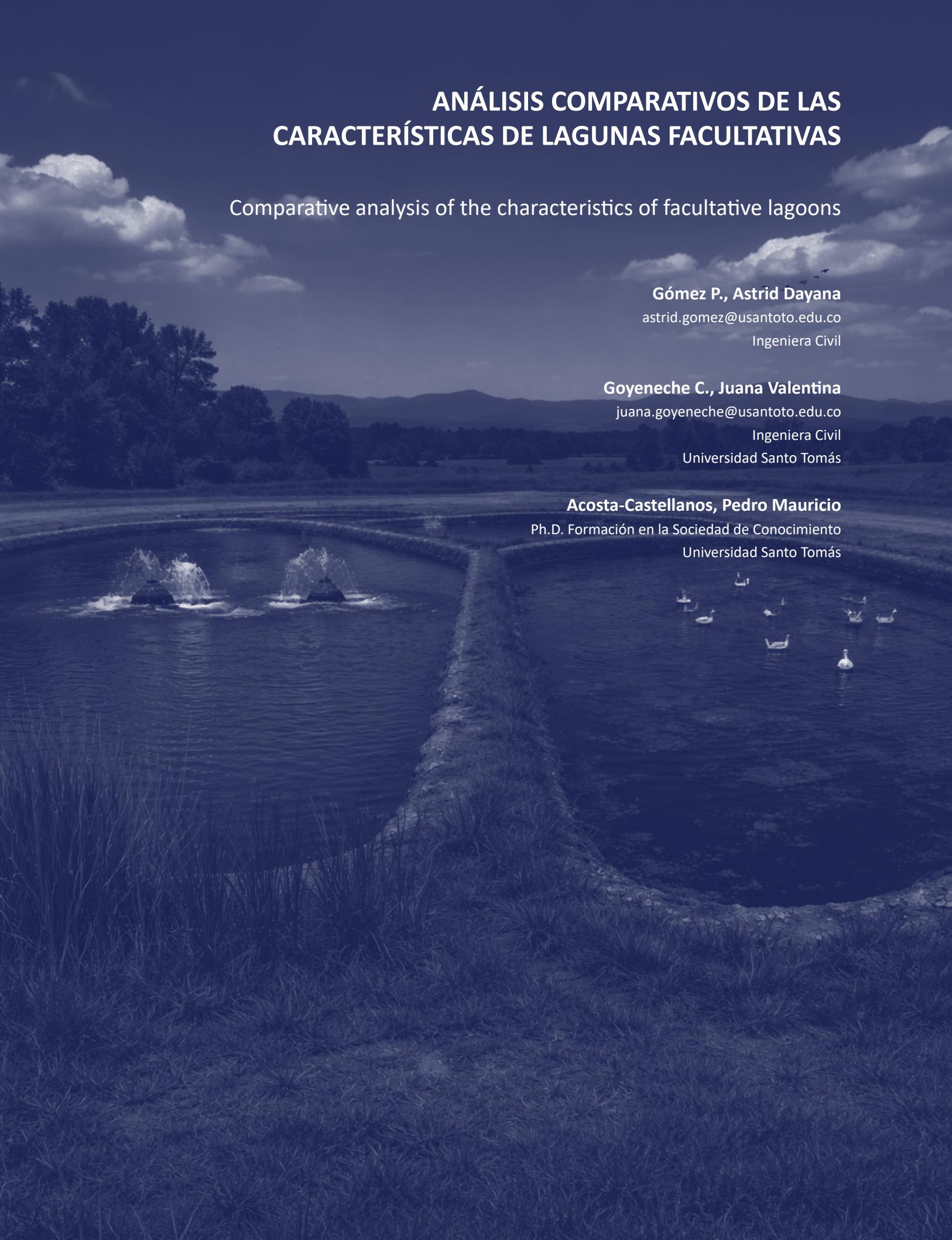
Ingeniera Civil

Universidad Santo Tomás

**Acosta-Castellanos, Pedro Mauricio**

Ph.D. Formación en la Sociedad de Conocimiento

Universidad Santo Tomás



## Resumen

Este artículo proporciona un análisis comparativo de lagunas facultativas, centrándose en su relación con la población, la densidad de población, la demanda bioquímica de oxígeno (*DBO*) y la temperatura promedio en diferentes regiones. Se enfatiza que se necesitan lagunas más grandes y complejas para manejar eficazmente las cargas de aguas residuales en áreas con mayor población. Del mismo modo, se destaca el efecto significativo de la variación de los niveles de *DBO* en diferentes regiones, lo que requiere una adaptación especial en la planificación y el uso. Por otro lado, la temperatura más fría afecta directamente la actividad biológica de estas lagunas, lo que enfatiza la necesidad de considerar medidas adicionales en regiones con climas fríos. En conjunto, estos factores enfatizan la adaptación de lagunas facultativas a las condiciones locales para lograr un tratamiento de aguas residuales eficiente y sustentable.

*Palabras clave:* Lagunas facultativas, Población, Habitantes, Temperatura, *DBO* y Aguas residuales.

## Abstract

This article provides a comparative analysis of facultative lagoons, focusing on their relationship to population, population density, biochemical oxygen demand (*BOD*) and average temperature in different regions. It is emphasized that larger and more complex lagoons are needed to effectively handle wastewater loads in areas with higher population. Similarly, the significant effect of varying *BOD* levels in different regions is highlighted, requiring special adaptation in planning and use. On the other hand, the colder temperature directly affects the biological activity of these lagoons, which emphasizes the need to consider additional measures in regions with cold climates. Together, these factors emphasize the adaptation of facultative lagoons to local conditions for efficient and sustainable wastewater treatment.

*Keywords:* Facultative lagoons, Population, Inhabitants, Temperature, *BOD* and wastewater.

Para citar este artículo: GÓMEZ P. Astrid Dayana; GOYENECHÉ C. Juana Valentina. "ANÁLISIS COMPARATIVOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAGUNAS FACULTATIVAS " In L'Esprit Ingénieux. Vol. 16-1, p.p X-X.

## 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, con un soporte bibliográfico y que fomenten en su quehacer la interdisciplinaria (Acosta Castellanos *et al.*, 2018). Así mismo se pretende contribuir desde la asignatura 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).

El derecho humano básico al acceso al agua potable, al saneamiento ya la higiene es esencial, pero muchas personas en todo el mundo enfrentan barreras importantes para obtener estos servicios esenciales (*Resolución A/RES/64/292*, 2010). Actualmente, alrededor de 1.800 millones de personas utilizan agua contaminada con heces humanas, mientras que alrededor de 2.400 millones de personas no tienen acceso a servicios sanitarios básicos, como retiros y letrinas (*Asamblea General de las Naciones Unidas*, 2015).

La situación se ve afectada por la escasez de agua, que afecta a más del 40% de la población mundial y es posible que esta cifra aumente en el futuro. Un problema alarmante es que más del 80% de las aguas residuales debidas a actividades humanas se vierten directamente a los ríos y al mar sin tratamiento previo, provocando una grave contaminación ambiental (*Asamblea General de las Naciones Unidas*, 2015). Las enfermedades relacionadas con el agua y el saneamiento inadecuado siguen siendo las principales causas de muerte en niños menores de 5 años, y más de 1000 niños mueren cada día a causa de enfermedades diarreicas causadas por un saneamiento deficiente (*UNICEF*, 2014).

Cada año, más de 2 millones de personas en todo el mundo mueren a causa de enfermedades diarreicas, y casi el 90% de estas muertes están relacionadas con el saneamiento deficiente y el uso insalubre del agua, lo que afecta especialmente a los niños. Económicamente, la falta de inversión en agua y saneamiento representa alrededor del 4,3% del producto interno bruto (*PIB*) de toda la región del África subsahariana. En el caso de India, esta falta de saneamiento reduce el *PIB* en un 6,4% por consecuencias económicas y los costes que conlleva (*Asamblea General de las Naciones Unidas*, 2015).

Por esta razón, la eficaz gestión de las aguas residuales municipales se ha convertido en una prioridad medioambiental inevitable, ya que provoca problemas como las emisiones de gases de efecto invernadero y la presencia de disruptores endocrinos, que amenazan tanto la calidad del agua como la salud. ambientales. En este contexto, las lagunas facultativas secundarias (*LFS*) emergen como elementos fundamentales para mitigar estos desafíos. El enfoque ecológico de la investigación de las lagunas enfatiza la importancia de comprender las complejas relaciones que existen entre la estructura de este ecosistema y sus funciones. Para desenredar estos vínculos, la simulación y la modelización matemática se han convertido en herramientas esenciales, que nos permiten comprender mejor y optimizar la eliminación de contaminantes, contribuyendo así a la conservación del recurso agua (Reyes A., 2014).

Los sistemas de tratamiento de lagunas facultativas son las más utilizadas en América Latina porque son fáciles de operar y construir, sin embargo, tienen una desventaja la cual es la necesidad de grandes áreas de terreno (Cortés Martínez, F., Treviño Canino, A., Luévanos Rojas, A., Luévanos Rojas, R. & Uranga Sifuentes, A. C., 2014). A la hora de crear estos sistemas de tratamiento se suelen tener en cuenta varios factores físicos, como la superficie y la combinación de elementos; estos factores están significativamente influenciados por la temperatura (Matsumoto & Sánchez Ortiz, 2011). Para las lagunas facultativas, es ideal que se encuentre en un medio tropical donde no ocurren variaciones por las estaciones que se presentan otros países (Correa Restrepo, Cuervo Fuentes, Mejía Ruiz, Aguirre, 2012).

Las principales razones de la limitada información sobre el funcionamiento de las lagunas primarias facultativas radican en los costos de transporte, pruebas de laboratorio y personal de campo, así como las dificultades técnicas para medir el flujo residual en el sitio y ciertos ensayos de laboratorio (Sánchez, Rosa, Moreno, 2011). Las aguas residuales son transportadas por alcantarillas y dentro de ellas se presentan modificaciones por diferentes procesos como son: mitigación de flujos, separación de contaminantes, biodegradación por biomasa suspendida y adherida, dilución por infiltración y deposición y una nueva suspensión de sólidos (Almeida, Friedler, 1999).

Las aguas residuales domésticas contienen componentes nocivos para los organismos acuáticos, diversos estudios han demostrado que los principales componentes químicos presentes en las aguas residuales urbanas son proteínas, lípidos y azúcares (Huang, Li, Gu, 2010), sin embargo, existen métodos tradicionales de tratamiento como físicos, químicos y biológicos, tanto in situ como en el sitio, tales como: lodos activados, biorreactores de membrana, humedales artificiales y estanques de estabilización. Además, se ha demostrado que la capacidad de biosorción de microorganismos, bacterias, hongos y algas es eficaz para eliminar nutrientes y sustancias químicas tóxicas (Koul, Yadav, Singh, Kumar, Song, 2022).

Para resolver estos problemas, las aguas residuales domésticas ahora se son un recurso y no un residuo. Estas aguas se consideran una valiosa fuente de agua, energía y nutrientes para las plantas como nitrógeno y fósforo. El uso de aguas residuales tratadas para regar jardines, cultivar alimentos e incluso para uso doméstico es una práctica cada vez más aceptada. Esto no sólo ahorra agua, sino que también aprovecha los nutrientes que contiene el flujo. Además, el uso de aguas residuales domésticas como fuente de energía tiene una larga historia, especialmente mediante la conversión anaeróbica de la materia orgánica de las aguas residuales en gas metano (McCarty, Bae, Kim, 2011). Otra ventaja de la reutilización de este líquido es la cría de peces, debido a que su tratamiento genera alimento para esta especie.

La demanda biológica de oxígeno (*DBO*) es la cantidad de oxígeno disuelto que los organismos aeróbicos necesitan para descomponer la materia orgánica en una muestra de agua particular, a una temperatura y durante un período de tiempo (Daoliang, Shuangyin, 2019). El objetivo de estabilizar un sistema lagunas es remover la materia orgánica, medida por la *DBO* en miligramos por litro ( $\text{mg L}^{-1}$ ), así como nitrógeno, fósforo y coliformes, los cuales se cuantifican en la mayoría de las unidades, la más común puede ocurrir por cada 100 ml (*MPN* 100 ml<sup>-1</sup>). Las aguas residuales domésticas transportan muchos tipos de bacterias que se originan en las heces (Iannacone,

2002). Estos organismos pueden transmitir enfermedades graves como el cólera, la hepatitis infecciosa, la fiebre tifoidea y la gastroenteritis, entre otras (Cortés Martínez, F., Treviño Cansino, A., Luévanos Rojas, A., Luévanos Rojas, R., & Uranga Sifuentes, A. C., 2014)

Además, la presencia de carbono (C) y nitrógeno (N) en la biosfera, elementos esenciales de la materia orgánica y factores impulsores de la productividad en entornos acuáticos y terrestres, se encuentra en gran medida condicionada por los procesos biogeoquímicos que ocurren en las LFS. La modelización de la producción de gases de efecto invernadero desde estas lagunas no solo desempeña un papel relevante en la reducción del cambio climático, sino que también valida modelos ecológicos que evalúan los equilibrios de compuestos orgánicos y nutrientes. La eficaz eliminación del nitrógeno en las LFS es un campo de estudio en constante evolución, resaltando la importancia de concebir modelos ecológicos integrales que aborden tanto el carbono como el nitrógeno en estos sistemas (Reyes A, 2014).

Lograr comparaciones exhaustivas de lagunas facultativas en diferentes ubicaciones es esencial para comprender cómo funcionan en diferentes contextos. Estos sistemas de tratamiento de aguas residuales se pueden adaptar a las condiciones específicas de cada zona, incluidos factores como el clima, la geología y la calidad del agua. Al estudiar su desempeño en diferentes lugares, obtenemos información sobre las estrategias y enfoques que funcionan mejor en cada contexto particular (Acosta Castellanos *et al.*, 2024). Esto no sólo ayuda a garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales locales y nacionales, sino que también hace que la gestión de aguas residuales sea más eficiente y económica. Además, este punto de referencia proporciona información valiosa que impulsa la investigación y el desarrollo continuo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Facilita la identificación de mejores prácticas y estimula la innovación en el diseño y operación de lagunas discrecionales. También contribuye a una gestión más eficiente de los recursos hídricos, lo que es especialmente importante en zonas con escasez de agua.

## Metodología

El enfoque utilizado para calcular los parámetros de diseño de una laguna facultativa se fundamenta en el modelo de McGarry Pescod, (1988), que requiere la utilización de una serie de datos específicos en su procedimiento. Estos datos son esenciales para llevar a cabo la evaluación y determinación de los parámetros necesarios en el diseño de la laguna facultativa.

**Tabla 1. Datos iniciales**

POBLACIÓN	DBO	Q	T
Hab	mg/L	m <sup>3</sup> /d	°C
780	120	132,6	22
780	350	132,6	22
1200	150	204	16
1200	250	204	16
6300	110	1071	29
8700	400	1479	29

Fuente: Autoría.

Inicialmente se determina la carga orgánica superficial máxima:

Según los estudios operativos realizados, se concluyó que, en las lagunas facultativas, la carga superficial debe ser controlada para evitar que el sistema entre en un estado anaeróbico. Este control está estrechamente ligado a la temperatura, especialmente a la temperatura más baja registrada en la región de investigación (Romero, 2000).

$$CSM = 60,3 * (1,0993)^T$$

Donde:

CSM: Carga superficial máxima (kgDBO /ha-d)

T: Temperatura del mes más frío (Centígrados)

Después se calcula el área superficial:

El área superficial se define como la parte alta expuesta al entorno una vez que la laguna está en funcionamiento, y esta área determinará la superficie necesaria para su capacidad de alojamiento. Por lo general, con el objetivo de optimizar el proceso de tratamiento, esta sección se configura en forma rectangular (Romero, 2000).

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

Donde:

A: Área (ha)

DBO: Demanda biológica de oxígeno (mg/ lt)

CSM: Carga orgánica superficial máxima (kgDBO /ha-d)

Posteriormente se establece el tiempo de residencia hidráulica o de retención:

El tiempo de residencia hidráulica se define como el lapso en el cual el agua residual permanece dentro de la laguna. Es relevante destacar que, en este tipo de tratamientos, se obtienen tiempos prolongados, a menudo de varios días, ya que la degradación biológica se lleva a cabo sin requerir la adición de sustratos ni la aplicación de procesos mecánicos o químicos (Romero, 2000; Acosta Castellanos *et al.*, 2024).

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

Donde:

Oh: Tiempo de residencia hidráulica (días)

A: área (m<sup>2</sup>)

H: profundidad útil de la laguna (m)

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/día)

En seguida se calcula la carga volumétrica orgánica:

La carga volumétrica se define como la cantidad de carga orgánica que el sistema, en este caso la laguna, recibe por unidad de volumen (Romero, 2000).

$$VLR = \frac{BDO * Q}{A * H}$$

Donde:

*COV*: Carga volumétrica orgánica (kgDBO /m<sup>3</sup>-día)

*DBO*: Demanda biológica de oxígeno (kg/ lt)

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/día)

A: área (m<sup>2</sup>)

H: profundidad útil de la laguna (m)

Luego se encuentra la carga orgánica superficial removida:

Una vez que se han establecido los parámetros geométricos de la laguna, es posible realizar el cálculo de la remoción de la carga orgánica (Romero, 2000).

$$COR = 10,35 + 0,725 (CSM)$$

Donde:

*COR*: Carga orgánica superficial removida (kgDBO /ha-d)

*CSM*: Carga orgánica superficial máxima (kgDBO /ha-d)

Se establece la eficiencia de remoción:

La eficiencia de remoción se define como la cantidad de DBO que el sistema puede eliminar por unidad de superficie en un día de operación, y suele expresarse en forma de porcentaje de eficiencia (Romero, 2000).

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

Donde:

E: Eficiencia (%)

*COR*: Carga orgánica superficial removida (kgDBO /ha-d)

*CSM*: Carga orgánica superficial máxima (kgDBO /ha-d)

A continuación, se presenta el proceso de ajuste o corrección del sistema.

Se determina la carga orgánica del efluente primario:

$$E_r = 100 - E$$

Donde:

$E_r$ : remanente

$E$ : Eficiencia (%) (Romero, 2000).

Después de determinar este remanente, se procede a calcular la carga orgánica:

$$CO1 = DBO * Q * E_r$$

Donde:

$CO1$ : Carga orgánica del efluente primario (kgDBO /d)

$DBO$ : Demanda biológica de oxígeno (kg/ lt)

$Q$ : Caudal (m<sup>3</sup>/día)

$E_r$ : remanente (Romero, 2000).

A continuación, se realiza la corrección por relación  $DBO_{total} / DBO_{soluble}$ :

Siguiendo la relación adecuada entre  $DBO$  total y  $DBO$  soluble, la cual debe ser igual a 2, se realiza un nuevo cálculo de la carga orgánica del efluente (Romero, 2000).

$$CO1_c = CO1 * 2$$

Donde:

$CO1_c$ : Carga orgánica corregida (kgDBO /d)

$CO1$ : Carga orgánica del efluente primario (kgDBO /d)

Se procede a seleccionar un valor de carga superficial que sea menor al máximo calculado en el paso 1 ( $CSM$ ) y que sea igual al  $CO1_c$ . Es importante aclarar que las unidades corresponden a una carga superficial expresada en kilogramos de  $DBO$  por hectárea por día (kgDBO /ha-d) (Romero, 2000; Acosta Castellanos et al., 2024).

Se procede a calcular el área superficial, el tiempo de residencia hidráulica, la carga volumétrica, la carga orgánica superficial removida y la eficiencia, de la misma manera que se llevó a cabo en los pasos anteriores (Romero, 2000).

Luego, se calcula la eficiencia global del sistema.

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

Donde:

$E_t$ : Eficiencia total del sistema (%)

$E_1$ : Eficiencia 1

$E_2$ : Eficiencia 2 (Romero, 2000).

### Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados se realizaron diferentes modificaciones en los datos iniciales. En la tabla 2 se muestra la variación de la población y el caudal, además, se dejaron fijos los demás datos iniciales como son la temperatura y *DBO*.

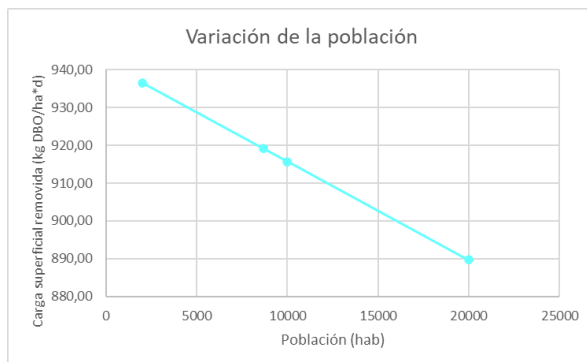
Tabla 2. Variación de la población.

POBLACION	CSM	$A_{final}$	$\Theta_{final}$	CSR	$E_{TOTAL}$
Hab	kg DBO/ha*d	ha	días	kg DBO/ha*d	%
2000	939,05	1,89	83,56	936,57	96,55
8700	939,05	1,89	19,21	919,11	93,62
10000	939,05	1,89	16,71	915,72	93,50
20000	939,05	1,89	8,36	889,66	93,12

Fuente: Autoría.

En la gráfica 1 se puede observar como a medida que aumenta la población, la carga superficial removida va a disminuir, cabe resaltar que inicialmente se tiene una población de 2000 habitantes y al final 20000 habitantes. La carga superficial removida tiene una variación de 936.57 kg *DBO*/ha\*día a 889.66 kg *DBO*/ha\*día, con una diferencia estimada de 46.91 kg *DBO*/ha\*día; pero aun así la eficiencia total de la laguna no está por debajo del 90%. Con base a lo anterior se puede afirmar que la eficiencia es menor si la población aumenta.

Gráfica 1. Variación de la población.



Fuente: Autoría.

Una vez analizado el comportamiento de las lagunas facultativas con relación a cambios en la población, se evidencio que no muestra mayores particularidades aun cuando la población es grande. A continuación, en la tabla 3 se encuentra la variación de *DBO* y junto a ello los cálculos correspondientes que son de gran importancia para el análisis. Se puede observar en la tabla 3 como el área final y el tiempo de retención no se ven afectados por el cambio en el *DBO*, ya que las variables no son dependientes directamente de dicho parámetro.

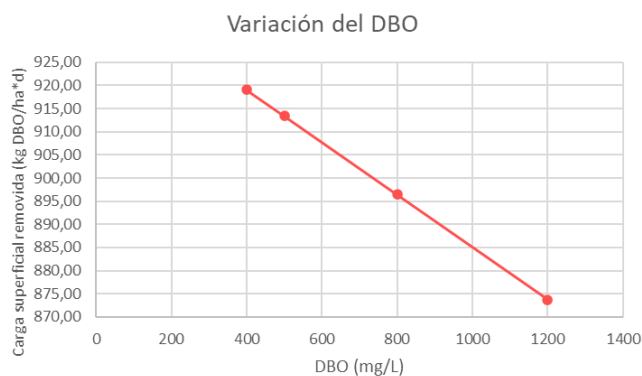
**Tabla 3. Variación de DBO.**

POBLACION	DBO	CSM	A <sub>final</sub>	Θ <sub>final</sub>	CSR	E <sub>TOTAL</sub>
Hab	mg/L	kg DBO /ha*d	ha	días	kg DBO/ha*d	%
8700	400	939,05	1,89	19,21	919,11	93,62
8700	500	939,05	1,89	19,21	913,44	93,44
8700	800	939,05	1,89	19,21	896,43	93,18
8700	1200	939,05	1,89	19,21	873,76	93,03

Fuente: Autoría.

En la gráfica 2 se puede analizar como al momento de variar el *DBO* que ingresa a la laguna facultativa, este directamente afectar la carga superficial removida. Además, se evidencia una disminución de la carga superficial removida a medida que el *DBO* es mayor.

**Gráfica 2. Variación del DBO.**



Fuente: Autoría.

Con base en lo anterior se puede afirmar que la variación de la población y del *DBO* no afectan sustancialmente el comportamiento de las lagunas facultativas, pero existe otro parámetro que es fundamental en el comportamiento de las lagunas, siendo este la temperatura. “En las lagunas la temperatura, es la que afecta la velocidad de la fotosíntesis y el metabolismo de las bacterias responsables por la depuración de las aguas residuales” (Matsumoto & Sánchez Ortiz, 2010).

A continuación, en la tabla 4 se muestra una variación en la temperatura, la cual va a modificar parámetros dependientes de ella como son: la carga superficial máxima, el área final, el tiempo de retención y la carga superficial removida.

La carga superficial máxima varía ya que es una fórmula empírica que involucra la temperatura para su determinación.

**Tabla 4. Variación de la temperatura.**

TEMPERATURA	POBLACION	DBO	CSM	$A_{final}$	$\theta_{final}$	CSR	$E_{TOTAL}$
°C	Hab	mg/L	kg DBO/ha*d	ha	días	kg DBO/ha*d	%
18	8700	400	331,44	2,05	20,80	314,63	94,17
20	8700	400	400,54	2,01	20,35	382,92	94,02
20	8700	400	400,54	2,01	20,35	382,92	94,02
30	8700	400	1032,30	1,89	19,14	1012,19	93,59

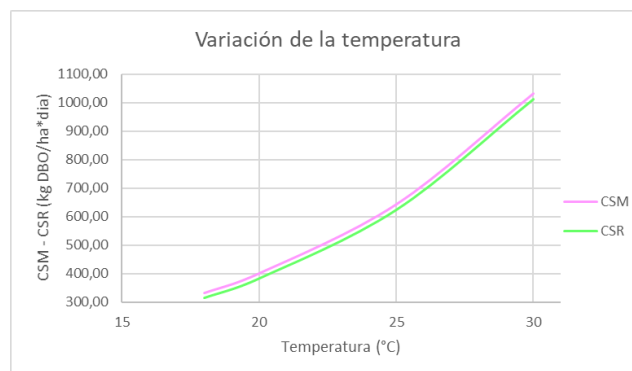
Fuente: Autoría.

Después de haber realizado los cálculos se determinaron diferentes cantidades de carga superficial máxima, variando la temperatura y finalmente se comparó con la carga superficial removida como se evidencia en la gráfica 3; donde se puede evidenciar que a mayor temperatura la carga superficial removida es menor por lo tanto la eficiencia disminuye.

En los procesos anaeróbicos es importante controlar la temperatura para la reproducción de los microorganismos que van a contribuir en la remoción de materia orgánica del agua residual. Los microorganismos que se encuentran en los diferentes tipos de lagunas varían de acuerdo con las características de las aguas residuales, entre ellos podemos encontrar: Bacterias, Fitoplancton y Zooplancton además de la fauna típica conocida como Benthos (Gonzales Medina, 2016).

Al contrario, las algas son sensibles a las altas temperaturas, el hecho de tener temperaturas mayores a los 30 grados va a generar algas verdeazules que son menos ventajosas que las algas verdes en la remoción de materia orgánica (Gonzales Medina, 2016). Con lo anteriormente mencionado se corrobora que la materia orgánica removida por los microorganismos y algas a una temperatura mayor va a ser baja, por lo tanto, es necesario controlar los niveles de temperatura en el sistema para garantizar un óptimo funcionamiento.

**Gráfica 3.**



Fuente: Autoría.

## Conclusiones

En el tratamiento de las aguas residuales y con el fin de contribuir con los objetivos de desarrollo sostenible, es necesario implementar alternativas tanto económicas de fácil interacción con el medio ambiente. Es por eso que se trae a colación el tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de lagunas facultativas, como tratamiento primario y con el análisis hecho mediante el modelo de McGarry Pescod, se llega a la conclusión que se tienen eficiencias por encima del 90% aun cuando la población es grande y las cargas de *DBO* son altas en el efluente.

Implementando el método de McGarry Pescod para los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se debe contar con factores determinantes en dicho modelo como lo es la temperatura, ya que esta contribuye o no a la producción de algas verdes y al correcto desempeño de los microorganismos que van a participar en la disminución de la materia orgánica superficial. El área necesaria para la construcción de las lagunas facultativas debe ser de gran tamaño, para garantizar los tiempos de retención hidráulica y así garantizar la disminución de materia orgánica superficial.

## Referencias

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

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(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. *L'esprit Ingénieux*, 13(1), 76-87. Recuperado a partir de <https://revistas.santototunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/3024>

Almeida, M. C., Butler, D., & Friedler, E. (1999). At-source domestic wastewater quality, 1(1), 49–55. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462075899000084>

Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos del desarrollo sostenible. Obtenido de Agua limpia y saneamiento: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Correa Restrepo, G., Cuervo Fuentes, H., Mejía Ruíz, R., & Aguirre, N. (2012). Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia. *Producción+ limpia*, 7(2), 36–51.

Cortés Martínez, F., Treviño Cansino, A., Luévanos Rojas, A., Luévanos Rojas, R., & Uranga Sifuentes, A. C. (2014). Objective function in the design of the facultative lagoon (case study). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 433–447.

- Daoliang Li, & Shuangyin Liu. (2019). Detection of River Water Quality. <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological%20sciences/biochemical-oxygen%20demand>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2014). Día Mundial del Agua: 1.000 niños mueren al día por su falta. <https://www.unicef.es/noticia/dia-mundial-del-agua-1000-ninos-mueren-cada-dia-por-falta-de-agua-potable>
- Huang, M. H., Li, Y. M., & Gu, G. W. (2010). Chemical composition of organic matters in domestic wastewater. *Desalination*, 262(1–3), 36–42. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916410003528>
- Iannacone, J. O. (2002). Remoción de formas parasitarias intestinales en una laguna facultativa de estabilización en Lima, Perú. *Revista brasileira de Zoología*, 19, 1033–1041.
- Koul, B., Yadav, D., Singh, S., Kumar, M., & Song, M. (2022). Insights into the Domestic Wastewater Treatment (DWWT) Regimes: A Review, 14(21), 3542. <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/21/3542>
- Matsumoto, T., & Sánchez Ortiz, I. A. (2010). Eficiencia del tratamiento de aguas residuales por lagunas facultativas e implicaciones en la salud pública. *Hacia la Promoción de la Salud*, 14. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-71072010000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072010000100009)
- Matsumoto, T., & Sánchez Ortiz, I. A. (2011). Desempeño de una laguna anaerobia con baffle divisor seguida de una laguna facultativa, posible afectación de la salud pública. *Universidad y Salud*, 13(1), 46–60.
- McCarty, P. L., Bae, J., & Kim, J. (2011). Domestic Wastewater Treatment as a Net Energy Producer – Can This be Achieved? <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es2014264>
- Resolución A/RES/64/292. Asamblea General de las Naciones Unidas. Julio de 2010.
- Reyes, Alexander. (2014). Developing Ecological Models on Carbon and Nitrogen. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20.
- Romero Rojas, J. A. (2000). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización (1ra ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN: 9701504038.
- Sánchez-Morales, R., Rosa-Domínguez, E., & Moreno-Mata, M. (2011). Análisis de la confiabilidad del funcionamiento de lagunas facultativas primarias en Villa Clara - Cuba. *Tecnología Química*, 31(1), 23–38.

