

Desarrollo y Análisis de Diseño para una Laguna Facultativa

Design Development And
Analysis For An
Optional Lagoon

Alba C., Mercy Yuliana

Universidad Santo Tomás
mercy.alba@usantoto.edu.co
Ingeniero civil

Hernández Ávila, Laura Sofia

Universidad Santo Tomás
laura.hernandez@usantoto.edu.co
Ingeniero civil

Resumen:

Resumen

En este trabajo se mostrará cómo diseñar lagunas facultativas siguiendo el método de McGarry & Pescot (1998), para determinar sus características en función de seis poblaciones con su respectiva información. También se expondrá la importancia de estas lagunas como una solución efectiva y económica para el tratamiento del agua en diversas poblaciones. Se describirán sus características, limitaciones, opciones de aplicación, y se llevará a cabo el cálculo y análisis de parámetros como el caudal, la DBO (demanda bioquímica de oxígeno), el área requerida para el diseño de la laguna, el tiempo de depuración de bacterias, la altura necesaria y la eficiencia del proyecto en relación con estos parámetros, entre otros. Posteriormente, se realizarán variaciones en algunos de estos parámetros para analizar cómo cambian en función del número de habitantes en cada población.

Palabras clave: Laguna facultativa, Tratamiento, Parámetros, Método.

Abstract

In this work, we will demonstrate how to design facultative ponds following the method of McGarry & Pescot (1998) to determine their characteristics based on six populations with their respective information. We will also highlight the importance of these ponds as an effective and economical solution for water treatment in various populations. We will describe their features, limitations, application options, and perform calculations and analysis of parameters such as flow rate, *BOD* (biochemical oxygen demand), the required area for pond design, bacteria purification time, necessary depth, and project efficiency in relation to these parameters, among others. Subsequently, variations will be made in some of these parameters to analyze how they change depending on the population size in each respective population.

Keywords: Facultative pond, Treatment, Parameters, Method.

Para citar este artículo: Alba C., Mercy Yuliana; Hernández Ávila, Laura Sofía. "Desarrollo y análisis de diseño para una laguna facultativa." In *L'Esprit Ingénieux*. Vol. 13-1, pp. X-X.

1. INTRODUCCIÓN

Con esta tarea de clase, se busca que los estudiantes investiguen soluciones sostenibles para los problemas ambientales en Colombia, promoviendo un pensamiento crítico a través del enfoque del aprendizaje basado en problemas y respaldado por fuentes bibliográficas, al mismo tiempo que fomenten la colaboración interdisciplinaria (Acosta Castellanos *et al.*, 2018). Además, se pretende que esta actividad contribuya a cerrar las brechas de conocimiento en la formación y capacitación de ingenieros en el campo del desarrollo sostenible, desde la perspectiva de la asignatura (Acosta Castellanos *et al.*, 2020; Acosta Castellanos & Queiruga Dios, 2021).

Las aguas residuales, son las cuales resultan de viviendas, núcleos urbanos e industriales, estas aguas contienen altos contaminantes orgánicos, sólidos sedimentables y bacterias, por lo que se buscan soluciones para tratarlas y con ello poder utilizarla en otras actividades como reemplazar el agua dulce para riego o fines recreativos (Sharma & Ahammed, 2023). Por ello se buscan soluciones para el tratamiento de estas aguas, dentro de estos tipos de tratamientos se encuentran las lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización son tanques donde las aguas residuales son tratadas por procesos naturales, en las que uno de estos puede contener algas, cabe resaltar que estos tipos de tratamientos son muy utilizados ya que benefician su bajo costo (Tsunao Matsumoto, 2010).

El propósito de los sistemas de lagunas de estabilización es eliminar la materia orgánica, es decir, el *DBO* en unidades (mg L⁻¹); eliminación de nitrógeno, fósforo y coliformes fecales con unidades muy probablemente por 100 ml (*NMP* 100 ml⁻¹). Estos últimos transmiten enfermedades como: cólera, hepatitis infecciosa, tífus, gastroenteritis entre otras enfermedades graves (Martínez, Cansino, Rojas, Ramón, & Sifuentes, 2014).

Se tienen en general tres tipos de lagunas, una de ellas son las lagunas facultativas las cuales son una de las más simples de los sistemas de lagunas de estabilización, sus procesos consisten en la detención de las aguas residuales (Acosta-Castellanos & Pacheco García, 2024; Von Sperling, 2009).

Las lagunas facultativas son un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizado principalmente para tratar las aguas domésticas e industriales, de igual forma, estas permiten procesos aeróbicos y anaeróbicos para la eliminación de contaminantes; cabe resaltar que una de las características de estas es que son poco profundas y grandes, por lo que como se mencionó anteriormente son muy viables económicamente (Eddy, 2013).

2. METODOLOGÍA

El propósito de este estudio fue establecer las propiedades geométricas y de tratamiento correspondientes a la laguna. En una fase inicial, se procedió a calcular la carga orgánica superficial máxima, la cual representa la cantidad máxima que puede aplicarse en relación con la superficie de contacto. El cálculo de esta carga se determina de la siguiente manera (Romero, 2004):

$$CSM = 60,3(1,0993)^T \quad [1]$$

Donde:

CSM: Carga superficial (KgDBO/Ha*d)

T: Temperatura del mes más frío (°C)

Luego de esto se determina el área superficial, la cual es el área expuesta al ambiente una vez la laguna este en uso y determinara la superficie necesaria para poder albergarla. Se determina con la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$A = \frac{Q * DBO}{1000 * CSM} \quad [2]$$

Donde:

A: Área (Ha)

DBO: Demanda biológica de oxígeno (mg/l)

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

Una vez que se ha determinado el área, se avanza al cálculo del tiempo de residencia hidráulica, el cual se define como el período durante el cual el agua residual permanecerá en la laguna. Es importante señalar que en este tipo de tratamientos, los tiempos de residencia suelen ser prolongados, medidos en días, ya que la degradación biológica se lleva a cabo sin depender de la adición de sustratos, procesos mecánicos o químicos. La expresión matemática que representa este tiempo es la siguiente (Romero, 2004):

$$\theta = \frac{A * H}{Q} \quad [3]$$

Donde:

θ : Tiempo de residencia hidráulica (días)

A: área (m²)

H: profundidad útil de la laguna (m)

Q= Caudal (m³ /día)

Se prosigue a hallar la carga volumétrica orgánica que expresa la carga orgánica por unidad de volumen que recibe la totalidad el sistema en este caso la laguna. Esta dada por (Romero, 2004):

$$COV = \frac{DBO * Q}{A * H} \quad [4]$$

Donde:

COV: Carga volumétrica orgánica (gDBO/m³ -día)

DBO: Demanda biológica de oxígeno (g/l)

Q= Caudal (m³ /día)

A: área (m²)

H: profundidad útil de la laguna (m)

Dado esto, se calcula la carga orgánica superficial removida mediante la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$COR = 10,35 + 0,725(CSM) \quad [5]$$

Donde:

COR: Carga orgánica superficial removida (kg DBO / ha-d)

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

Con estos datos, se procede a determinar la eficiencia de remoción, que indica la cantidad de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) que el sistema puede eliminar por unidad de superficie en un día de operación. Normalmente, esta eficiencia se expresa en porcentaje y se calcula mediante la siguiente fórmula (Romero, 2004):

$$E = \frac{COR}{CSM} \quad [6]$$

Donde:

E: Eficiencia (%)

COR: Carga orgánica superficial removida (kg DBO / ha-d)

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

En esta fase del proceso de diseño, resulta crucial comparar los requisitos del sistema con los estándares establecidos por las autoridades pertinentes o, en este caso específico, por el proveedor. Se busca determinar si, hasta este punto, se han cumplido con estos requisitos o si es necesario realizar ajustes o correcciones en el sistema. (Romero, 2004)

Posterior a esta etapa, se llevó a cabo el proceso de ajuste, centrándose en calcular la carga orgánica del efluente primario, utilizando la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$Er = 100 - E \quad [7]$$

Donde:

Er: remanente

E: eficiencia

Luego de ello se calcula la carga orgánica

$$CO1 = DBO * Q * Er \quad [8]$$

Donde:

CO1= carga orgánica del efluente primario (kgDBO/d)

DBO: Demanda biológica de oxígeno (g/lt)

Q= Caudal (m3 /día)

Er: remanente

Enseguida, realizamos la corrección por relación *DBO total / DBO soluble*

$$CO1c = CO1 * 2 \quad [9]$$

Donde:

CO1c: Carga orgánica corregida (kg DBO/d)

CO1= carga orgánica del efluente primario (kg DBO/d)

Después de este paso, se elige un valor de carga superficial que sea inferior al máximo calculado inicialmente (CSM) y que sea idéntico al CO1c, asegurándose de que las unidades correspondan a una carga superficial (kg DBO / ha-d). Luego, se procede a realizar los mismos cálculos previos, que incluyen el tiempo de residencia hidráulico, la carga volumétrica, la carga orgánica superficial removida y la eficiencia. Finalmente, se calcula la eficiencia global del sistema mediante la siguiente expresión (Romero, 2004):

$$Et = 1 - (1 - E1)(1 - E2) \quad [10]$$

3. RESULTADOS

Tabla 1. Datos de entrada

Consumo diario	200	Lt/hab*d	DATOS DE ENTRADA					
POBLACIÓN	HABI-TANTES (Habs)	DBO (mg/Lt)	DBO (g/m ³)	DBO (Kg/m ³)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES MAS FRIO (°C)	ALTURA	CAUDAL (Lt/d)	CAUDAL (m ³ /d)
1	780	120	120	0,12	22	1	132600	132,60
2	780	350	350	0,35	22	1	132600	132,60
3	1200	150	150	0,15	16	1	204000	204,00
4	1200	250	250	0,25	16	1	204000	204,00
5	6300	110	110	0,11	29	1	1071000	1071,00
6	8700	400	400	0,4	29	1	1479000	1479,00

Tabla 2. Cálculos

CALCULOS									
CSM (kgDBO/ha*d)	ÁREA (ha)	ÁREA (m ²)	TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA (dia)	COV (gDBO/m ³ *d)	COR (KgDBO/Ha*d)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgD-BO/d)
484,03	0,0329	328,738	2,48	48,40	361,27	0,75	0,25	122,76	245,52
484,03	0,0959	958,820	7,23	48,40	361,27	0,75	0,25	122,76	245,52
274,27	0,1116	1115,692	5,47	27,43	209,20	0,76	0,24	65,07	130,15
274,27	0,1859	1859,487	9,12	27,43	209,20	0,76	0,24	65,07	130,15
939,05	0,1255	1254,568	1,17	93,90	691,16	0,74	0,26	31,10	62,20
939,05	0,6300	6299,996	4,26	93,90	691,16	0,74	0,26	156,17	312,34

Tabla 3. Corrección de cálculos

CORRECCIÓN DE CALCULOS							
AREA (ha)	AREA (m ²)	TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA (dia)	COV (gDBO/m ³ *d)	CSR(kgDBO/ha*d)	EFICIENCIA 1	EFICIENCIA TOTAL	DBO SECUNDARIO
0,06	648,10	4,89	99,03	188,35	0,77	0,94	14,50
0,19	1890,29	14,26	33,95	188,35	0,77	0,94	14,50
0,24	2351,17	11,53	23,80	104,71	0,80	0,95	6,04
0,39	3918,61	19,21	14,28	104,71	0,80	0,95	6,04
1,89	18940,96	17,69	53,10	55,44	0,89	0,97	1,78
1,89	18940,96	12,81	73,33	236,80	0,76	0,94	19,94

Tabla 4. Cálculo de CO1 para la población 5 y 6 utilizando el cálculo de DBO soluble.

	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgDBO/d)	AREA (ha)	AREA (m ²)	TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA (día)	COV (gDBO/m ³ *d)	CSR (kgDBO/ha*d)	EFICIENCIA 1	EFICIENCIA TOTAL
Población 5	247,89	495,78	1,89	18940,96	17,69	53,10	369,79	0,75	0,93
Población 6	247,89	495,78	1,89	18940,96	12,81	73,33	369,79	0,75	0,93

Primeramente, para el diseño, cálculo y análisis del procedimiento de las lagunas se tuvo en cuenta una de las características principales de las *lagunas facultativas* que es su profundidad, la cual se sitúa un rango que suele estar entre 1m y 2 m (Mendonça, 2001), en nuestro caso principalmente escogimos un valor de 1m de altura para el diseño de la laguna facultativa.

Según los cálculos y sus respectivos resultados, se cuantifican seis poblaciones cada una con sus respectivos habitantes: caudales, *DBO* y temperatura, entre otros, con cuyos resultados se puede visualizar la variación que se tiene de cada cálculo realizado según los datos que tiene cada población; con base en esto resultados podemos determinar que la población entre más habitantes tenga su área será mayor, si se necesita un área de mayor magnitud para realizar la *laguna facultativa* y la población no cuenta con el espacio suficiente para que en ella se puede desarrollar el proyecto.

La temperatura y los habitantes que tenga la población son factores que influyen bastante a la hora del cálculo y el análisis de una *laguna facultativa*; en los cálculos presentados se realizó una variación de datos para la *población 1*, utilizando como base para el análisis el cálculo de *DBO soluble*, cambiando la temperatura y los habitantes de estas dos poblaciones. Teniendo en cuenta esto, para la *población 1* con una población inicial de 780 hab, y una temperatura de 33°C, la eficiencia supera los límites, razón por la que no funciona (cf. Tabla 5)

Tabla 5. Cambio de datos población 1.

Consumo diario		200	L/hab*d																	
DATOS DE ENTRADA										CALCULOS										
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/Lt)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDBO/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgDBO/d)		
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51		

Consumo diario		200	L/hab*d																	
DATOS DE ENTRADA										CALCULOS										
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/Lt)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (L/d)	CAUDAL (m3/d)	CSM (kgDBO/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	COR (KgDBO/H)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgDBO/d)		
1	780	120	120	0,12	33	1	132600	132,60	1371,36	0,0116	116,030	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	4,26	8,51		

AREA (ha)	AREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3*	CSR(kgDB O/ha*d)	EFICIENCIA 1	EFICIENCIA TOTAL	DBO SECUNDARIO
1.97	19714,76	148.68	3.26	16.20	1.90	1.26	-2.17

Luego de obtener esta información, se empezaron a jugar con los datos de la *población 1*, teniendo como resultado que para que su eficiencia sea lógica y funcional se necesita un número mayor de habitantes comparado con el que se tenía inicialmente (cf. Tabla 6).

Tabla 6. Cambio de datos población 1

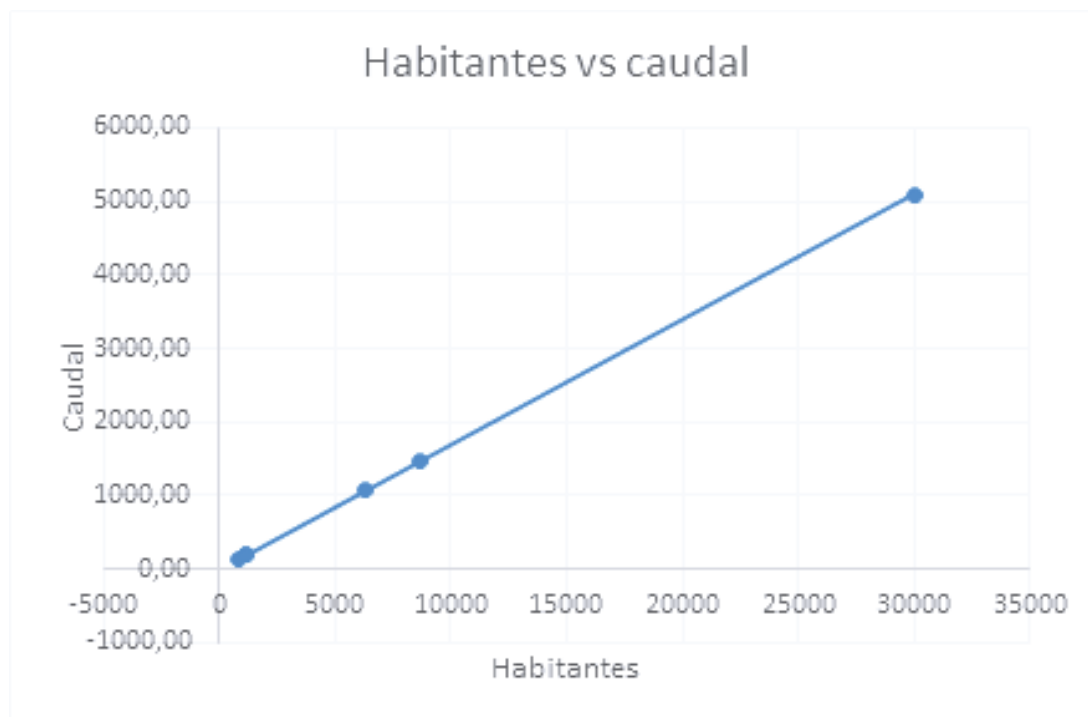
Consumo diario	200	Lt/hab*d						
DATOS DE ENTRADA								
POBLACIÓN	HABITANTE S (Habs)	DBO (mg/Lt)	DBO (g/m3)	DBO (Kg/m3)	TEMPERATURA PROMEDIO DEL MES	ALTURA	CAUDAL (Lt/d)	CAUDAL (m3/d)
1	3500	120	120	0,12	33	1	595000	595,00

CALCULOS																	
CSM (kgDBO/ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3)	COR (KgDBO/h)	EFICIENCIA	EFICIENCIA REMANENTE	CO1(Kg DBO/d)	CO1C (KgDBO/d)	ÁREA (ha)	ÁREA (m2)	TIEMPO DE RESIDENCIA	COV (gDBO/m3)	CSR(kgDB O/ha*d)	EFICIENCIA	EFICIENCIA TOTAL	DBO SECUNDARIO
1371,36	0,0521	520,649	0,88	137,14	1004,59	0,73	0,27	19,10	38,19	1,87	18694,89	31,42	374,11	38,04	1,00	1,00	0,04

Teniendo en cuenta la variación realizada anteriormente, el número mínimo de habitantes que debe poseer una población que cuente con una temperatura de 33°C, y demás características expuestas en la Tabla 6, es 3.500 habitantes para así obtener una eficiencia del 100%. Para el análisis de estas variaciones se utilizó una temperatura de 33°C, ya que entre más alto sea este valor, más rápido será la eliminación de las bacterias (Salamanca, 2017). Asimismo, este cambio de datos nos permite analizar el tiempo de residencia, que normalmente lo ideal es que se ubique dentro de un rango de 6 a 10 días. Con el cambio de datos que se tienen, el tiempo no alcanza a esos días por lo que se debe modificar el dato, que nos daría un tiempo de residencia dentro del rango del DBO, algo lógico ya que entre más habitantes haya mayor deberá ser la demanda bioquímica de oxígeno.

Por otro lado, como es algo de esperarse, los resultados obtenidos nos comprueban que entre más habitantes tenga una población, mayor tendrá que ser su caudal para que así este pueda abastecer a toda la población.

Gráfica 1. Habitantes versus caudal.



4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos al manipular diversos parámetros de las poblaciones y modificar los valores mencionados previamente, es imperativo considerar que la implementación de *lagunas facultativas* resulta más eficaz cuando se lleva a cabo en una población que cumple con ciertos requisitos fundamentales. Entre estos requerimientos, destaca la necesidad de que la población posea un periodo de tiempo de residencia considerable, preferiblemente entre 10 y 13 días, ya que durante este lapso, el proceso de depuración bacteriana alcanza su máxima eficiencia.

Adicionalmente, se observa que la efectividad de este método potencia cuando la población experimenta un rango de temperatura óptimo, situado entre los 20°C y los 30°C. Dentro de este intervalo, se favorece significativamente la eliminación de impurezas. Por lo tanto, la conjunción de un período adecuado de tiempo de residencia y condiciones térmicas específicas, contribuye de manera sinérgica a optimizar el rendimiento de las *lagunas facultativas* en el proceso de depuración.

En relación con la cantidad de habitantes presentes en la población sujeta a análisis, resulta crucial considerar que a medida que el número de personas aumenta, también debe incrementarse significativamente el área de diseño destinada a la laguna. Este aumento proporcional en el tamaño del área se justifica debido a la correlación directa con la mayor producción de aguas residuales que surge en una población más numerosa. En consecuencia, el dimensionamiento adecuado de la *laguna facultativa* se convierte en una medida esencial para gestionar eficazmente el tratamiento de las aguas residuales generadas por una población en crecimiento, asegurando

así un rendimiento óptimo del sistema de depuración.

Más aún, las *lagunas facultativas* proporcionan una solución eficaz y económicamente viable para el tratamiento de aguas residuales. Efectivamente, ellas crean un entorno natural para los procesos biológicos, facilitando la descomposición de la materia orgánica y la reducción de contaminantes. A su vez, este enfoque se caracteriza por su operación sencilla y su bajo costo de implementación en comparación con tecnologías más avanzadas.

No obstante, es crucial reconocer que las *lagunas facultativas* pueden tener limitaciones en cuanto a la eficiencia y la capacidad para tratar contaminantes más resistentes. Además, su rendimiento puede verse afectado por condiciones climáticas y estacionales. Por lo tanto, para lograr una implementación exitosa, es necesario llevar a cabo un monitoreo constante y adaptarse a las condiciones específicas del sitio.

Aunque las *lagunas facultativas* ofrecen una solución valiosa para el tratamiento de aguas residuales, su implementación exitosa requiere una comprensión detallada de sus ventajas y limitaciones, así como un compromiso continuo con una gestión efectiva para garantizar resultados ambientales positivos.

REFERENCIAS

- 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 de: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieurs/article/view/3024>
- Eddy, M. Y. (2013). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. McGraw-Hill Education.

- Ewing, T.; Babauta, J. T.; Atci, E.; Tang, N.; Orellana, J.; Heo, D. & Beyenal, H. (10 de December de 2014). "Self-powered wastewater treatment for the enhanced operation of a facultative lagoon". *ScienceDirect*, pp. 284-292.
- Gerardi, M. H. (2015). The biology and troubleshooting of facultative lagoons. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781118981771.biblio>.
- Houweling, D.; Kharoune, L.; Escalas, A. & Comeau, Y. (January de 2008). "Dynamic modelling of nitrification in an aerated facultative lagoon". *ScienceDirect*, pp. 424-432.
- 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&id=S0120-53072007000100001&lng=en&tlng=es.
- Martínez, F. C.; Cansino, A. T.; Rojas, A. L., R. L. & Sifuentes, A. C. (01 de Abril de 2014). "Función objetivo en el diseño de la laguna facultativa". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pp. 443 - 447.
- Mendonça, S. R. (2001). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*. Mc Graw Hill.
- Salamanca, U. D. (2017). Cidta. Obtenido de Cidta: <https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/facultativas.PDF>
- Sharma, S. & Ahammed, M. M. (2023). "Application of modified water treatment residuals in water and wastewater treatment: A review". *ScienceDirect*, 2405 - 8440.
- Smyth, K.; Vendramelli, R.; Dankewich, D. & Yuan, Q. (15 de May de 2018). "Seasonal variations in cold climate nutrient removal: A comparison of facultative and aerated lagoons". *ScienceDirect*, pp. 224-231.
- Tsunao Matsumoto, I. A. (2010). "Eficiencia del tratamiento de aguas residuales por lagunas facultativas e implicaciones en la salud pública". *Revista Centro de Estudios en Salud*, pp. 65 - 78.
- Universidad del Rosario (10 de marzo de 2016). Ciencias humanas - Guías de calidad académica. Recuperado de: <http://www.urosario.edu.co/cienciashumanas/GuiasdeCalidadAcademica/49c/>
- Vijay, S. & Yuan, Q. (1 de October de 2017). "Simplified empirical model for phosphorous removal in a facultative wastewater lagoon". *Science Direct*, pp. 1-5.
- Von Sperling, M. (2009). Principios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais.
- Wolverton, B. C. & McDonald, R. C. (1979). "Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plants". *Water Pollution Control Federation*, 305-313.
- Yargeau, V.; Schlageter, B.; Alungulesa, S.; Gillis, P. L.; Doran, M.; Hayward, E. E. & Metcalfe, C. D. (2023). "Integrated ozonation as a strategy for enhancing treatment of municipal wastewater in facultative sewage lagoons". *Science Direct*, pp. 2213-3437.