

PROPUESTA DE DISEÑO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A PARTIR DE LAGUNAS FACULTATIVAS POR EL MÉTODO DE MC. GARRY Y PESCOD

Design Proposal for Wastewater Treatment from
Facultative Lagoons Using the Mc. Garry and Pescod Method

Ochoa P., Jorge Esteban

USTA, ochoa.prieto@usantoto.edu.co

Ingeniero Civil

Orduz C., Javier Esteban

USTA, javier.orduz@usantoto.edu.co

Ingeniero Civil

Resumen

El cuidado de las aguas residuales se ha convertido en un tema central en el campo de la investigación actual, debido a que resulta una de las actividades humanas más contaminantes del ser humano; debido a esta constante creciente de actividades y mal manejo de estas, se evidencia un interés en su tratamiento, ya que, por lo general son vertidas en el medio ambiente sin recibir ningún tipo de tratamiento y contienen altos niveles de contaminación nocivos. En consecuencia, es necesario tomar medidas para gestionar el tratamiento de las aguas residuales y así prevenir su impacto negativo en el entorno natural. En este artículo investigativo se analizaron detenidamente las condiciones necesarias para el tratamiento de aguas residuales a partir del método de Mc. Garry y Pescod. Se realizará una breve comparación con los enfoques propuestos por Yáñez, Mara y Arthur. En primer lugar, se abordará el uso de lagunas facultativas como método de tratamiento, destacando diversas opciones para diseñar y dimensionar las condiciones más óptimas, operativas y funcionales de las mismas; todo lo establecido parte de unas condiciones establecidas de manera teórica para tener así una visión más asertiva de cómo las condiciones de Temperatura, *DBO* y otros parámetros pueden tener un impacto directamente en la eficacia del tratamiento de aguas residuales. Además de esto, es importante tener en cuenta que existen otras alternativas para el tratamiento de aguas residuales que pueden llegar a mejorar las condiciones, pero que en la misma medida estas pueden llegar a tener un incremento significativo en el costo a la hora de implementarlas.

Palabras clave: Lagunas Facultativas, Aguas Residuales, Temperatura, *DBO*.

Abstract

The treatment of wastewater has become a central topic in current research due to being one of the most polluting activities by humans. Because of the constant increase in these activities and the mismanagement of wastewater, there is a growing interest in its treatment. Typically, these wastewaters are discharged into the environment without any treatment and contain high levels of harmful contamination. Consequently, it is necessary to take measures to manage the treatment of wastewater and prevent its negative impact on the natural environment. In this research article, the necessary conditions for wastewater treatment were thoroughly analyzed using the Mc. Garry and Pescod method. A brief comparison will be made with the approaches proposed by Yáñez, Mara, and Arthur. First, the use of facultative ponds as a treatment method will be addressed, highlighting various options for designing and sizing the most optimal, operational, and functional conditions for them. All of this is based on theoretically established conditions to have a more assertive view of how parameters such as temperature, *BOD*, and others can directly impact the efficiency of wastewater treatment. Additionally, it is important to consider that there are other alternatives for wastewater treatment that can potentially improve conditions but may also significantly increase the implementation cost.

Keywords: Facultative Lagoons, Wastewater, Temperature, *OBD*.

Para citar este artículo: OCHOA P. Jorge Esteban; ORDUZ C. Javier Esteban. "Propuesta de Diseño para Tratamiento de Aguas Residuales a partir de Lagunas Facultativas Por el Método de Mc. Garry y Pescod." In *L'Esprit Ingenieur*. Vol. 16-1, p.p X-X.9

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 interdisciplinariedad (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).

En el tratamiento de aguas residuales ya sean de tipo urbanas, agrícolas, industriales y/o domésticas uno de los tratamientos más comunes es el uso de lagunas facultativas o bien llamadas lagunas de estabilización; porque es bien sabido que en el tratamiento y disposición de las mismas es un problema que ha venido escalando de manera ascendente siendo uno de los contaminantes más altos de los afluentes cercanos a poblaciones en donde se llevan todo tipo de actividades ya mencionadas y que afectan la salud pública de los seres vivos que se nutren de las fuentes hídricas siendo estas una fuente no renovable y fácilmente extingible a lo largo del tiempo (Ciudad *et al.*, 2019).

En Colombia y en el mundo es evidente que, debido a varias problemáticas ambientales frente al cambio climático, los gobernantes y líderes han empezado a tomar acción frente a la calidad y disponibilidad del agua tanto potables como residuales en el país. Tanto así que según informes de la *Organización Mundial de la Salud* emite que si se tuviese un buen tratamiento de aguas se reducirían problemáticas a la salud y las personas tendrían mejor calidad de vida. Sin embargo, países que es encuentran en vía de desarrollo como es el caso de Colombia se presenta la ausencia de este recurso tan preciado (OMS, 2017). Cabe resaltar, que el crecimiento poblacional y la urbanización aumentan la demanda de agua. Cerca del 36% de la población mundial vive en áreas con escasez de agua, lo que causa problemas de calidad del agua y falta de saneamiento en zonas urbanas en crecimiento (World, 2017). En América Latina y el Caribe, solo alrededor del 60% tiene acceso a alcantarillado, y el tratamiento de aguas residuales es insuficiente, lo que afecta la salud pública y el medio ambiente (Rodríguez *et al.*, 2020). En la normativa colombiana, el Decreto 3930 de 2010 define el vertimiento como la liberación final de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido en un cuerpo de agua, sistema de alcantarillado o en el suelo. Para garantizar los estándares de calidad del recurso hídrico para diferentes usos, se han establecido regulaciones específicas: la Resolución 0631 de 2015 regula los vertimientos en cuerpos de agua superficiales y sistemas de alcantarillado público, la Resolución 0883 de 2018 se aplica a los vertimientos en aguas marinas, y el Decreto 050 de 2018 aborda los vertimientos en el suelo (Darío Naranjo-Fernández, 2022).

Las lagunas se basan principalmente en el correcto tratamiento del agua residual a partir de la recirculación de materia orgánica y la respectiva cadena alimenticia entre bacterias, protozoos y algas (Acosta Castellanos *et al.*, 2014). Por lo general en Colombia este tipo de diseños es complejo encontrarlos debido a que son viables solo donde se cuente con terrenos de bajo costo y se lleven actividades ya mencionadas como lo son de carácter urbano, agrícola, industrial y/o domésticas cabe resaltar que este método es uno de los más económicos en el tratamiento de aguas residuales

frente a métodos alternos existentes en el tratamiento de las mismas como los son: los lodos activados, digestión aerobia y anaerobia, filtros biológicos, bio-discos, *UASB* o *RAFA* (vista de *Estado del Arte* en el diseño de lagunas de potabilización, 2023); en vez de implementar este tipo de lagunas las autoridades competentes prefieren aprobar el diseño y construcción de las *PTAP* para llevar a cabo un proceso similar para el tratamiento de aguas de origen residual (Suárez Malagón et al., 2022).

Sin embargo, las lagunas son efectivas para eliminar organismos patógenos de climas tropicales que son modelados de acuerdo a información climatológicas donde funcionan a diferentes condiciones, por ende es de vital importancia tener cuidado a la hora de seleccionar el método para el tratamiento de aguas residuales dependiendo de sus condiciones meteorológicas ya que estos diseños de lagunas dependen directamente de la temperatura lo cual determinara la eficiencia a la que van a ser aprovechables, ya que en climas fríos no es tan eficiente a comparación de los climas secos que estos presentan una alta mejoría en la eficiencia.

En esta metodología de las lagunas facultativas se debe tener en cuenta la demanda biológica de oxígeno ya que es una estimación de cuánto oxígeno necesitan las aguas residuales, para así poder evaluar la calidad de los vertidos y la eficiencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales (Jorge Alonso Cárdenas-Leon, Ángela María Wilches-Flórez, & Cindy Viviana Vanegas-Castillo, 2017). La evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y la demanda bioquímica de oxígeno (*DBO*) en plantas de tratamiento de aguas residuales es de suma importancia porque de ello dependerá la complejidad del sistema que se requerirá para la implementación de un buen tratamiento (Saúl A. Chuchón Martínez & Carlos A. Aybar Escobar, 2008). No obstante, las alternativas de tratamiento poco convencionales o tecnologías de bajo costo e impacto se presentan como una solución eficaz para la depuración de aguas residuales en comunidades pequeñas o sistemas rurales. Estas opciones destacan por su asequibilidad económica y bajo consumo energético, y se caracterizan por requerir un mantenimiento sencillo y no depender de personal altamente especializado ni procesos complicados (Bernardo & González Díaz, Orestes Arsenio, 2017).

Metodología

Las herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto investigativo corresponden a ecuaciones utilizadas para determinar la eficiencia del diseño de las lagunas facultativas por el método de Mc. Garry y Pescod en el tratamiento de aguas residuales, datos suministrados por la base de datos del *IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)* y poder computacional como lo es *Microsoft Excel (Software que crea, lee y edita hojas de cálculo)* para así poder calcular de manera más exacta y detallada cada uno de los factores que incurren en la implementación de las lagunas facultativas.

Procedimiento por el método de Mc. Garry y Pescod

De acuerdo con la literatura para el cálculo de lagunas tenemos el método de Mc. Garry y Pescod donde principalmente se debe calcular la carga orgánica superficial máxima la cual se determina a partir de la ecuación del *CSM* (Romero, 1988),

$$CSM = 60.3(1.0993)^3$$

Donde después de haber realizado correctamente el cálculo de la carga superficial máxima se debe terminar el área superficial de la laguna con la ecuación de área que tiene en cuenta el caudal el *DBO* y el *CSM* y está dada por la siguiente ecuación (Romero, 1988),

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

Una vez determinadas las dimensiones de la laguna se tiene que calcular el tiempo hidráulico o de retención a partir de la siguiente ecuación (Romero, 1988),

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

Para poder determinar la carga volumétrica se va a tener en cuenta el *DBO*, Caudal, Área y Altura (propuesta) a partir de la siguiente ecuación (Romero, 1988),

$$COV = \frac{DBO * Q}{A * H}$$

Una vez determinado todo lo anterior se deberá calcular la carga orgánica superficial removida gracias a las Lagunas Facultativas a partir de la siguiente ecuación (Romero, 1988),

$$COR = 10.35 + 0.725(CSM)$$

Cuando ya se ha determinado la carga orgánica removida se deberá calcular la eficiencia de remoción hasta el momento mediante la siguiente ecuación (Romero, 1988),

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

Una vez concluido dicho calculo, se presentará el proceso de ajuste o corrección del sistema donde se calcula la carga orgánica del efluente primario para ver que consistencia tendrá (Romero, 1988),

$$Er = 100 - E$$

Una vez hallado este remanente se procede a calcular la carga orgánica que determinara cuanto quedara (Romero, 1988),

$$CO1 = DBO * Q * Er$$

Donde posteriormente se realizará la corrección por relación $DBO_{total}/DBO_{soluble}$ (Romero, 1988),

$$CO1_c = CO1 * 2$$

Y, por último, se procede a adoptar un valor de carga superficial inferior al máximo calculado en el cálculo 1 (CSM) e idéntico al $CO1C$, pero con la aclaración de las unidades correspondientes a una carga superficial ($kgDBO/ha - d$) (Romero, 1988).

Posteriormente a ello se determina el área superficial, el tiempo de residencia hidráulico, la carga volumétrica, la carga orgánica superficial removida y la eficiencia, de igual manera que se realizó en los cálculos anteriores.

Finalizando con el cálculo de la eficiencia global del sistema para determinar si es viable realizar las Lagunas Facultativas (Romero, 1988).

$$Et = 1 - (1 - E1)(1 - E2)$$

Resultados

Para el caso que se presenta que la carga orgánica en el afluente primario (CO_1) supera la carga superficial máxima (CSM), se deduce que al verificar la carga orgánica remanente no existe o es de carácter negativo (Romero, 1988).

$$CO_1C = (CSM - COR)$$

La carga orgánica remanente es un DBO que se solubiliza con el agua y no puede ser removido a esta condición, en agua residual es común que esto se presenta generando un alto nivel de turbidez que se refiere de un líquido a dispersar un haz de luz. (Arboleda Valencia, 2000)

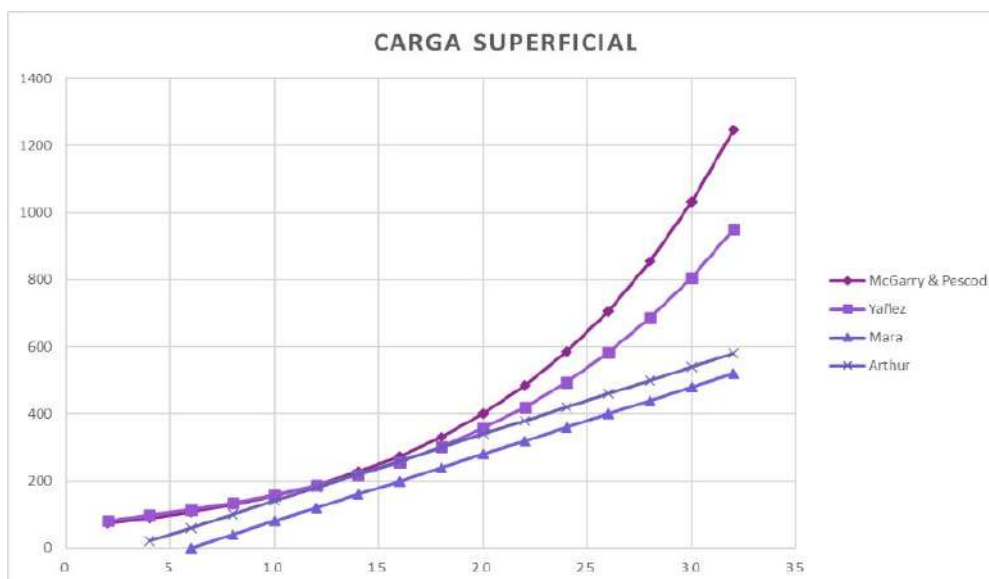


Ilustración 1. Carga Superficial.

No es correcto el afirmar que en la laguna de estabilización en el afluente primario elimine todo el nivel de *DBO* o elimine de más provocando un valor negativo, la premisa de tomar que la carga orgánica removida sea superior es equivocada ya que al ser una ecuación empírica debe tener condiciones para su cumplimiento adecuado por lo dicho se propone.

Se buscará el buscar los caudales adecuados para cada temperatura de dos a treinta y dos grados centígrados, teniendo como constante la demanda biológica de oxígeno de 200, 250 y 300 mg/l, los valores fueron basados en un estudio de eficacia de remoción la cual propone valores promedio de un agua residencial doméstica (Cusipuma *et al.* 2022).

Donde iteraremos el caudal para cada temperatura en función del caudal la fórmula de iteración será; los valores en negrilla fueron tomados como constante donde la eficiencia de remoción depende de la temperatura de cada caso (Romero, 1988).

$$(DBO * Q * E_r) - CSM = 0$$

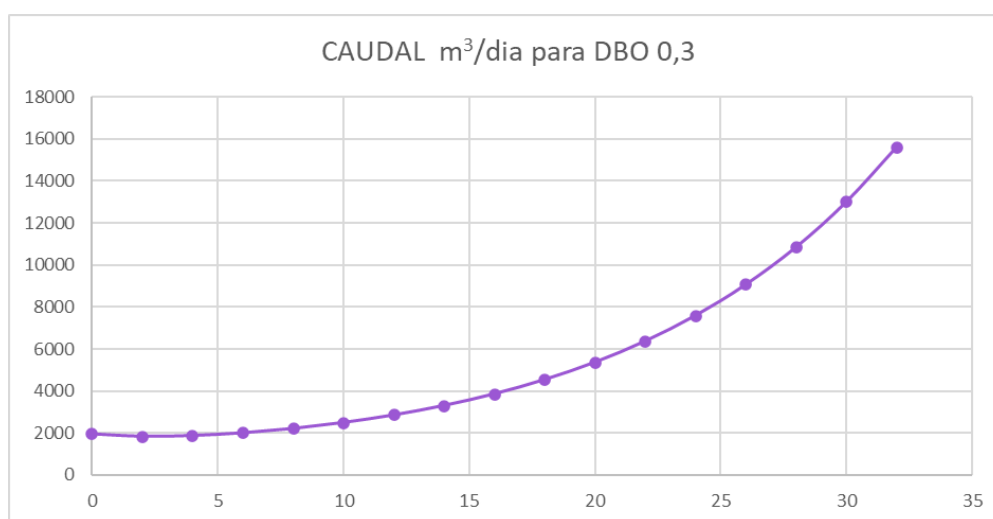


Ilustración 2. Caudal Max para *DBO* 300 mg/l.

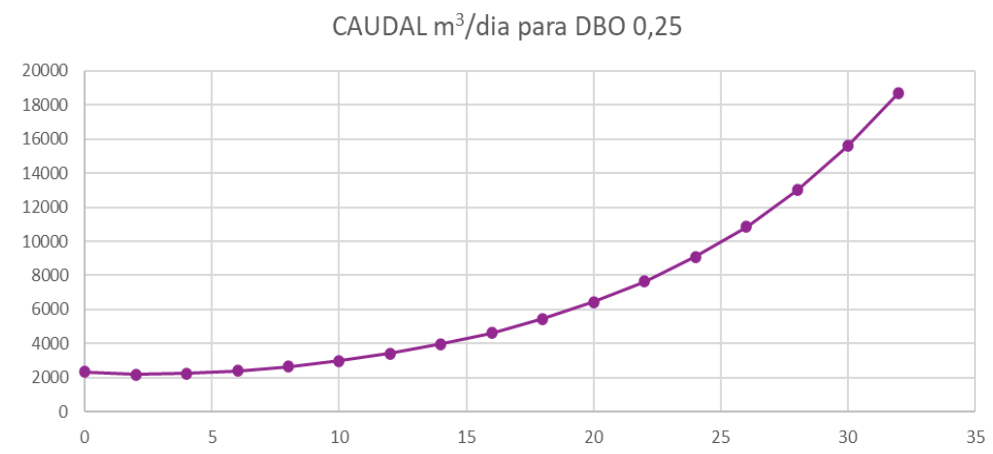


Ilustración 3. Caudal Max para *DBO* 250 mg/l.

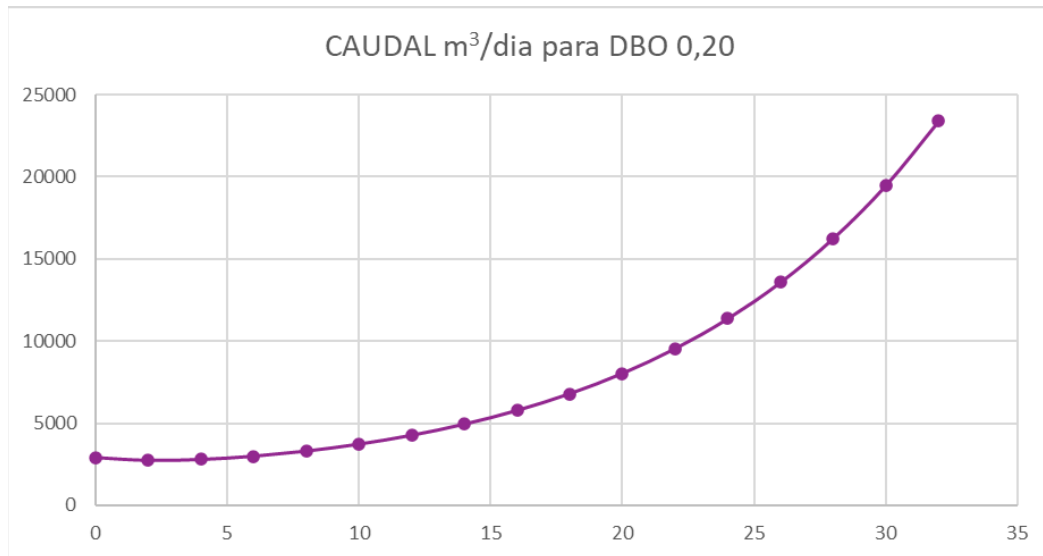


Ilustración 4. Caudal Max para DBO 200 mg/l.

Donde la iteración se hará en función del caudal el cual por consecuencia alterará la carga orgánica del afluente y dará el valor máximo de caudal para cada temperatura como se muestra en la gráfica 2 evidenciamos que a mayor temperatura sobre los 32 grados centígrados puede tener caudal máximo de 15591 m³/día, para la gráfica 3 que se aumenta la demanda a 250 mg/l se permite una elevación del caudal a 18709 m³/día, y por último en la gráfica 4 que se disminuye en a 200 mg/l de DBO se eleva el caudal a los 32 grados sobre los 23387 m³/día.

De exceder los caudales que se proponen para cada temperatura se deberá aplicar la siguiente ecuación de carga orgánica remanente (Romero, 1988),

$$CO_1C = CO1 * 2$$

Se analizarán con diferentes demandas de DBO, para obtener un análisis multicriterio con diferentes parámetros que se pueden presentar comúnmente en agua residuales de tipo domésticas.

Conclusiones

Teniendo en cuenta que el valor de CO1 debe ser menor a CSM, se realiza una iteración teniendo como constantes valores de DBO, y la eficiencia residual variable según la temperatura, con la finalidad de buscar con que población y con que caudal es el adecuado aplicar la ecuación (Romero, 1988),

$$(1) Co_1C = (CSM - COR)$$

De pasar este caudal se recomienda usar (Romero, 1988),

$$(2) CO_1C = CO1 * 2$$

Teniendo como premisa que el valor de carga orgánica del efluente primario debe ser menor que la carga orgánica superficial removida. Para DBO de 0,3 kg/m³ todos los valores iguales o mayores a los presentados por cada temperatura se deberá usar la ecuación número (2).

Teniendo en cuenta la variabilidad de las temperaturas; se puede llegar a concluir que las Lagunas Facultativas son una excelente alternativa para el buen tratamiento de aguas residuales.

Se limitan las ecuaciones para llegar a ser aplicadas en de manera acertada evitando generar errores en los cálculos que pueden dar algunas ecuaciones empíricas ya que no se encuentran siempre limitadas por los parámetros experimentales con las que se obtuvieron.

Se concluye que, con bajas demandas de *DBO*, se permite caudales más grandes para prestar un cálculo más acertado con la ecuación de carga orgánica remanente total (CO_1C). En diseño de lagunas facultativas es importante no cargar de grandes demandas de *DBO*, ya que el no hacer un sistema de grandes cargas de demanda biológica de oxígeno permitirá caudales mayores.

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

Arboleda Valencia, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. McGraw-Hill.

Cárdenas-León, J. A., Wilches-Flórez, Á. M., & Vanegas-Castillo, C. V. (2017). Variaciones de la acidez durante la incubación de las muestras en pruebas de *DBO*. *Rev. de la Academia Colombiana de Ciencias*, 41(158), 71. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.396>

Ciudad, L., Murillo, N., Daniel, J., Chávez, B., Eduardo, L., Gustavo, I., & Baque, M. (2019). Estudio del periodo de retención hidráulica en lagunas de maduración... *ULEAM*. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/2080/1/ULEAM-IC-0041.pdf>

Larriva Vásquez, J. B., & González Díaz, O. A. (2017). Cinética de la remoción de *DBO5* en humedales de flujo sub-superficial. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(1), 17-30.

Martínez, S. A. C., & Aybar Escobar, C. A. (2008). Remoción de coliformes fecales y *DBO* (PTAR "La Totorá"). *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 165-171. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.372>

Naranjo-Fernández, D. (2023). Alternativas de vertimiento y reúso... *Revista EIA*, 20(39), 1-61. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1620>

Rodríguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020).

De residuo a recurso. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/33436>

Romero Rojas, J. A. (1988). Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización (1ª ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Suárez Malagón, A. J., Lara Mendivelso, J. A., Castañeda Rodríguez, L. J., & Casas Cortés, P. A. (2022). Absorción de MO con *Eichhornia crassipes*. *Acta Biológica Colombiana*, 27(3), 386–393. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n3.83223>

Universidad del Valle. (2023). Estado del Arte en el Diseño de Lagunas de Potabilización. https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2331/3081

World Health Organization (WHO). (2017, July 12). 2.1 billion people lack safe drinking water at home... <https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>

Cusipuma, G., Sang García, P., Lizbeth, W., Farfán, E., & Ronald, E. (2022). Eficacia de remoción de la DBO de agua residual doméstica mediante purificadores: revisión sistemática. [Faltan datos editoriales – completar]