

Evaluación de macrófitas flotantes para el tratamiento de un agua residual sintética en humedales artificiales

Luis Alfredo Hernández Vásquez ^{1*}, Francisco Prieto García ², Judith Prieto Méndez ², Elena María Otazo Sánchez ² y Alejandro Alvarado Lassman ³

¹ Tecnológico Nacional de México, campus Zongolica. Km 4 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, 95005 Zongolica, Ver

² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca - Actopan Km. 4.5, Campo de Tiro, 42039 Pachuca de Soto, Hgo.

³ Tecnológico Nacional de México, Campus Orizaba. Oriente 9, Emiliano Zapata, 94320 Orizaba, Ver

* Autor de correspondencia: alfredohv_basicas@zongolica.tecnm.mx;272-2272285

Desarrollo sustentable (Humedales naturales y construidos).

Resumen: Los sistemas de humedales artificiales se consideran una tecnología adecuada para el tratamiento de aguas contaminadas y, en comparación con los sistemas convencionales, son de bajo costo y respetuosos con el medio ambiente. Las macrofitas tienen un papel importante en la reducción de contaminantes, ya que permiten su absorción, entre otros procesos. En el presente estudio se muestra el uso de *Lemna minor*, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* las cuales son macrofitas flotantes, con el objetivo de disminuir la contaminación presente en un agua residual sintética. Para evaluar la eficiencia de remoción se generó un agua sintética con una DQO inicial del 1,229 mg de DQO/L y se plantearon 5 experimentos 3 de ellos con cada macrofita de manera individual y 2 con la combinación de estas. Después de 21 días de evaluación la mayor remoción obtenida es de 96 % en los experimentos donde se encuentran en combinación las macrofitas flotantes, los experimentos individuales *Eichhornia crassipes* alcanza remociones de 92 %, *Pistia stratiotes* 90 % y *Lemna minor* 77 %. El uso de macrofitas flotantes en humedales artificiales es eficiente para el tratamiento de aguas residuales sintéticas.

Palabras clave: Islas flotantes artificiales, remoción, DQO, pH

Assessment of aquatic macrophytes with for polluted water treatment in floating constructed wetlands

Abstract: Constructed wetland systems are considered a suitable technology for treating polluted water and, compared to conventional systems, are low cost and environmentally friendly. Macrophytes play an important role in reducing pollutants, since they allow their absorption, among other processes. The present studies show the use of *Lemna minor*, *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*, which are floating macrophytes, with the aim of reducing the contamination present in synthetic wastewater. To evaluate the removal efficiency, synthetic water with an initial COD of 1,229 mg of COD / L was generated and 5 experiments were proposed, 3 of them with each macrophyte individually and 2 with their combination. After 21 days of evaluation, the highest removal obtained is 96% in the experiments where the floating macrophytes are found in combination, the individual experiments *Eichhornia crassipes* reached removals of 92%, *Pistia stratiotes* 90%, and *Lemna minor* 77%. The use of floating macrophytes in constructed wetlands is efficient for the treatment of synthetic wastewater.

Introducción

Las Islas Flotantes Artificiales (IFA) hacen parte de un tipo de humedales construidos, están conformados por una estructura flotante en donde las plantas acuáticas se desarrollan por encima del nivel del agua, mientras las raíces crecen dentro del agua (Headley y Tanner, 2012). Las IFAs poseen un diseño similar a los sistemas flotantes naturales existentes en diferentes cuerpos de agua, ya que están estructurados por una estera orgánica gruesa flotante que soporta el crecimiento de las plantas (Yeh et al., 2015). Es multifuncional ya que ayuda en la reducción de la propagación de contaminantes, conservación del hábitat, descontaminación del agua, depuración de aguas, paisajismo verde, puede reducir la penetración de la luz, la competencia por los nutrientes del agua e inhibir el crecimiento de algas. Además, es reportado que las especies utilizadas pueden absorber nutrientes nitrogenados excesivos, reducir nitrato y fosfato en aguas residuales (Lu et al., 2015).

Entre las principales características de las macrófitas acuáticas se encuentran la capacidad de acumular y acelerar el ciclo de nutrientes (Caines, 1965). Proporcionan estructuras para que se realicen procesos de floculación y la sedimentación, aunado a esto mejoran las condiciones esenciales para que las actividades microbianas estabilicen y degraden los contaminantes (Herath, 2015). Los macrófitos también influyen en las propiedades fisicoquímicas del agua al liberar compuestos bioactivos de las raíces. Estos compuestos liberados pueden mejorar el proceso de sorción

y sedimentación (Headley y Tanner, 2012). Este trabajo investigó el potencial y la eficiencia de macrofitas flotantes para la remoción de materia orgánica de aguas residuales sintéticas utilizando sistemas experimentales del tipo IFAs.

Materiales y Métodos

El experimento, de manera inicial, se llevó a cabo entre el 19 de julio y el 9 de agosto de 2021 en las ciudades de Orizaba, Veracruz. Se operaron en modo discontinuo tenido un tiempo de residencia hidráulico 21 días. Los sistemas se dispusieron en un área protegida, lo que permitió una exposición adecuada al aire y la luz solar.

Macrofitas empleadas

Se colectaron tres macrofitas de *Eichhornia crassipes* comúnmente conocida como jacinto de agua, *Pistia stratiotes* L también conocida como lechuga de agua y *Lemna minor* conocida como lenteja de agua. Las macrofitas fueron tomadas de cuerpos de agua de la región de Orizaba, Veracruz, y posteriormente sembradas en recipientes con agua, en donde permanecieron por 30 días para su adaptación.

Montaje de humedales artificiales

Para asegurar la durabilidad, resistencia y eficiencia en el proceso de remediación ambiental mediante el sistema IFA, se diseñan las estructuras flotantes considerando los parámetros físicos y biológicos. En el diseño de la IFA se emplearon dos componentes: 1) la estructura flotante y 2) la vegetación. La estructura flotante está compuesta por un marco de tubos de PVC de 0.5 pulgadas, sobre el cual se instala una malla de plástico, una malla de fibra de yute, y botellas plásticas recicladas de 330 mL con tapa (Figura 1). La parte basal de las plantas reposa entre la malla plástica y la malla de yute como se muestra en la figura 2; la primera malla sirve de soporte para las plantas y la segunda mantiene la humedad de las raíces y les da un mejor aspecto a las estructuras flotantes. Las botellas plásticas garantizan que la estructura permanezca flotando y se ubican debajo de la estructura de PVC (Martínez-Peña, 2018). La parte aérea de las plantas sobresale por encima de la fibra vegetal y las raíces se extienden por debajo de la estructura flotante hacia el fondo del cuerpo de agua.

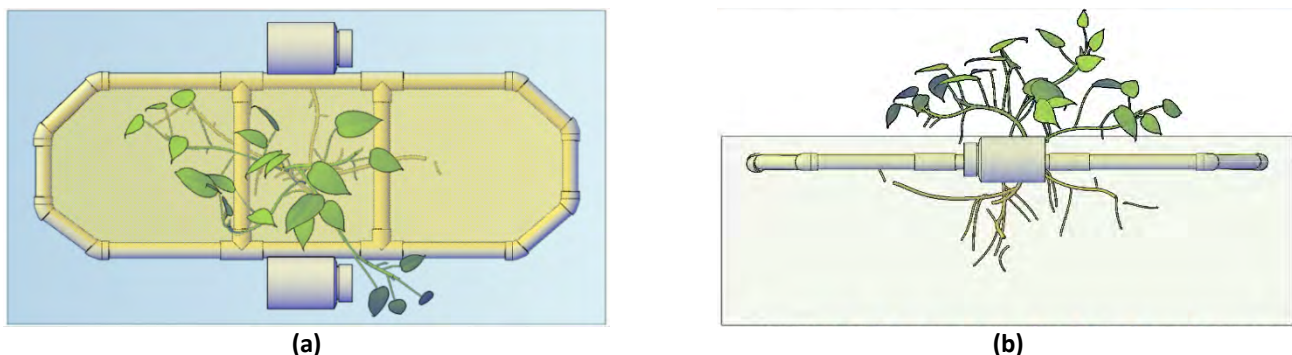


Figura 1. Estructura de IFA: a) Vista superior b) Vista lateral

Formulación de los experimentos

Se preparó un agua residual sintética que corresponden a las de un agua residual doméstica de concentración media, adoptado de trabajos previos (You et al., 2003; Akin and Ugurlu, 2005; González y Saldarriaga, 2008; Crombet et al., 2013; Sandoval et al., 2015). El agua residual generada alcanzó un valor promedio de 1,229 mg DQO/L.

Se construyeron cinco IFAs a escala de laboratorio las cuales se colocaron en contenedores de vidrio de 40.5 cm x 30.5 x 30.5 con un volumen de trabajo de 20 L. A cada contenedor le correspondió una especie diferente, A: *Eichhornia crassipes*, B: *Pistia stratiotes*, C: *Lemna minor* y D y E: una combinación de estas tres especies empleadas.

Muestreo y análisis

Para la recolección, preservación y análisis de las muestras se siguieron los procedimientos establecidos en el Método Estándar (APHA et al., 2012). Los parámetros de control fueron pH y la DQO, los cuales se monitorearon en el día 3, 7, 14 y 21, de manera tal de poder evaluar de forma inicial, el aspecto cinético que se desarrolla.

Análisis estadístico de los datos

El análisis se realizará usando el software estadístico ANTM 2.5, un software estadístico que incorpora el método de matriz ortogonal L_9 de Taguchi, para realizar una optimización del proceso a fin de encontrar la aplicación de las macrofitas más eficaces en términos de remoción de la DQO principalmente. Para conocer la significancia de los resultados de cada parámetro operacional se realizará un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con un nivel de significancia de 95% ($p < 0,05$), y se buscará la contribución de cada variable.

Resultados y Discusión

En la figura 2 se muestran montaje de las IFAs con las macrofitas empleadas

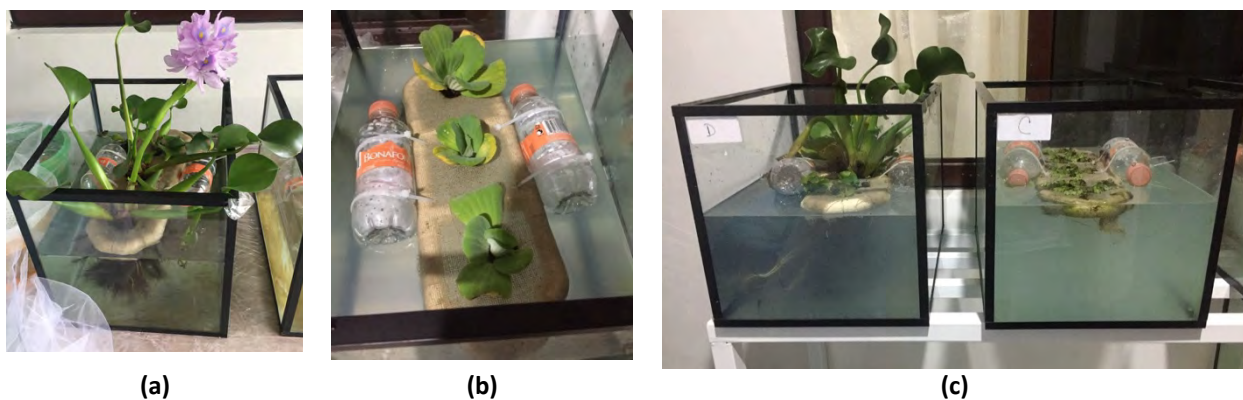


Figura 2. Montaje de IFAs: a) *Eichhornia crassipes* b) *Pistia stratiotes*, c) *Lemna minor* y combinación de macrofitas

La variación del pH se mantiene en rangos alcalinos de 7.7 a 9.5 como se muestra en la figura 3. Un pH de 6-9 es favorable para el tratamiento de aguas residuales por plantas acuáticas (Mumtaz et al., 2014). A partir del tercer día todos los contenedores experimentaron un incremento en el pH, para *Eichhornia crassipes* alcanzó un valor de 9.19, *Pistia stratiotes* 9.28, *Lemna minor* 8.81 y las combinaciones 9.34. Pasados 21 días se muestra una disminución en todos los contenedores con valores de 8.7 a 8.90, este fenómeno puede deberse al consumo de CO_2 resultados de la fotosíntesis que realiza cada macrofita (Mendoza et al., 2018). En ninguno de los casos se encontraron diferencias significativas, las variaciones más importantes se apreciaron al tercer día

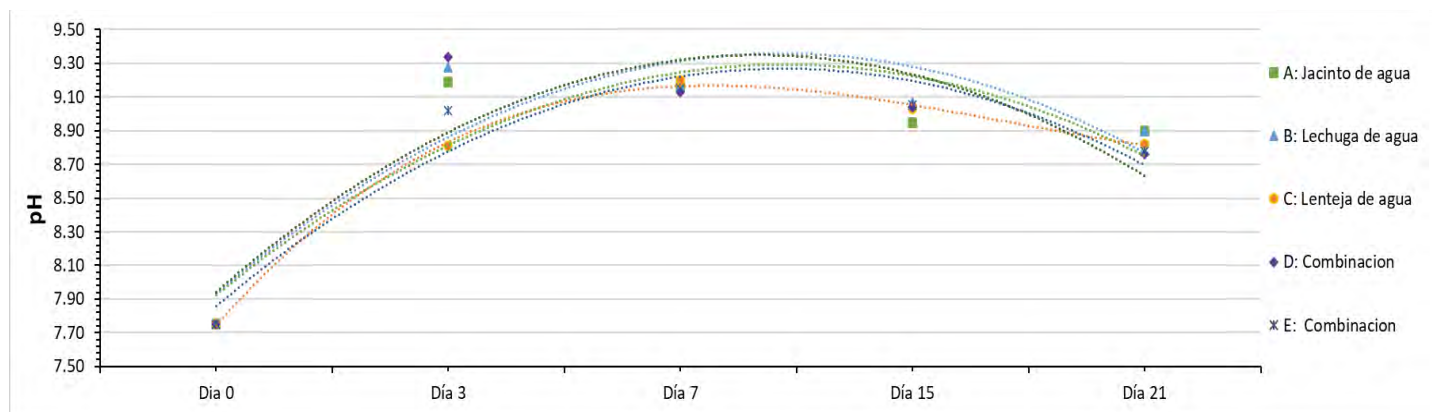


Figura 3. Monitoreo del pH

En todos los sistemas de tratamiento se reflejó una marcada disminución en la DQO (figura 4), en el contenedor A la reducción es de 263 mg de DQO/L por día, para el contenedor B de 236 mg de DQO/L por día, en el contenedor C es de 195 mg de DQO/L por día y en los contenedores D y E su disminución llega a alcanzar valores de 258 de DQO/L. De algún modo se infiere cinéticamente, que se presenta una velocidad de reducción de la DQO entre 200-260 mg DQO/L para las tres especies evaluadas y la combinación o conjunción de éstas. Es interesante reportar que no se han encontrado informaciones o referencias bibliográficas con relación a este parámetro, lo cual se considera un aporte a este proceso. A este tenor, las mejores macrofitas fueron *Eichhornia crassipes* > *Pistia stratiotes* > *Lemna minor*; la conjugación de las tres, resulta muy interesante también.

Las reducciones más significativas se observaron en los sistemas con macrófitas *Eichhornia crassipes* (contenedor A) esto es similar a lo presentado por Queiroza et al., (2020) quienes evaluaron el potencial de *Eichhornia crassipes*, *Eichhornia paniculata*, *Polygonum ferrugineum* y *Borreria scabiosoides* en un periodo de 15 días quien demostró mayor potencial para la remoción de DQO es *Eichhornia crassipes* disminuyendo un 86 %.

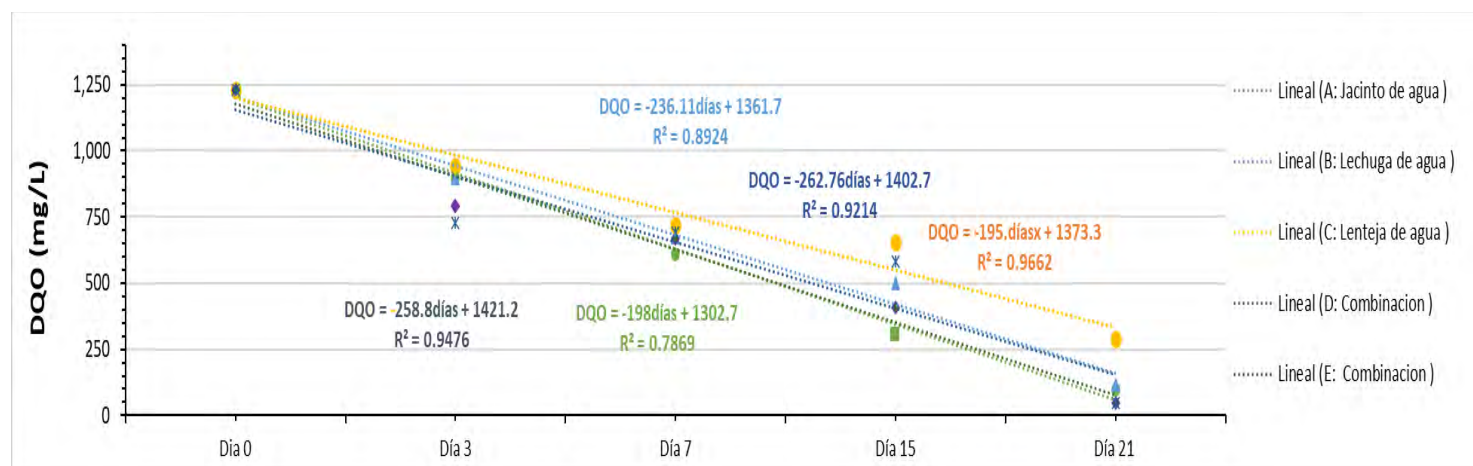


Figura 4. Monitoreo de DQO (mg/L)

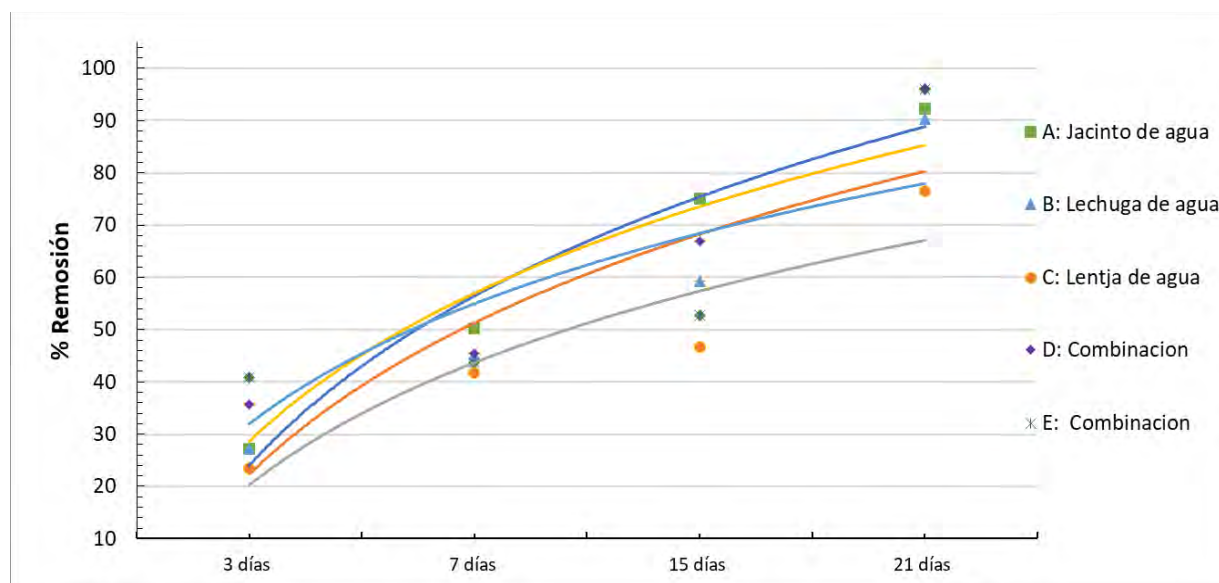


Figura 5. Remoción de la DQO (%)

En la figura 5 se muestra la eficiencia de remoción de la DQO, después de 21 días, *Eichhornia crassipes* alcanza un 92 %, seguido de *Pistia stratiotes* con 90 % y *Lemna minor* 77 %. Para los experimentos en combinación celdas D y E es donde se logra la mayor remoción alcanzado el 96 %. Victor et al., (2016) evaluaron el potencial de fitorremediación de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para tiempos de residencia de 20 días. La reducción fue del 82.45% de DQO y del

84.91% de DBO. Esta reducción también es similar a los resultados presentados en la búsqueda. Prajapati et al., (2017) evaluaron la eficiencia de remoción de contaminantes por macrófitos en un humedal flotante y encontraron valores entre 87.2 y 94% de eficiencia en la reducción de tasas de DQO.

Conclusiones

El establecimiento de IFA's para el tratamiento de aguas residuales es viable puesto que se logra remover de manera eficiente la materia orgánica presente en las aguas sintéticas. De modo que existe un gran potencial en las macrofitas flotantes para la fitorremediación, destacando a *Eichhornia crassipes*, seguido de *Pistia stratiotes* y en un tercer lugar *Lemna minor*. El establecimiento de Humedales artificiales con macrofitas flotantes en combinación mejora el proceso de absorción puesto que de esta manera se alcanza una mayor remoción de contaminantes.

Bibliografía

- APHA, AWWA, WEF. 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater. XXII Ed., 1360 p. American Public Health Association, Washington, USA.
- Akin B. S.; Ugurlu A. 2005. Monitoring and control of biological nutrient removal in a sequencing batch reactor. En: Process Biochemistry. 40, 2873-2878.
- Caines, L.A. 1965. The phosphorus content of some aquatic macrophytes with special reference to seasonal fluctuations and applications of phosphate fertilizers. Hydrobiologia, 25(1), 289-301.
- Crombet-Grillet, Sandra; Pérez-Pompa, Norma; Ábalos-Rodríguez, Arelis; RodríguezPérez, Suyén. 2013. Caracterización de las aguas residuales de la comunidad "Antonio Maceo" de la Universidad de Oriente. Revista Cubana de Química. 25 (2), 134-142.
- González M.; Saldarriaga J.C. 2008. Remoción biológica de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en un sistema tipo anaerobio-anóxico-aerobio. Revista EIA.10, 45-53.
- Headley, T.; Tanner, C. 2012. Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: an innovative stormwater treatment technology. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 42, 2261-2310.
- Herath, I; Vithanage, M. 2015. Fitorremediación en humedales artificiales. En Fitorremediación; Springer International Publishing: Cham, Suiza. 243-263.
- Lu, Y.; Song, S.; Wang, R.; Liu, Z.; Meng, J.; Sweetman, A.J.; Jenkins, A.; Ferrier, R.C.; Li, H.; Luo, W.; Wang, T. 2015). Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China. Environment International, 77, 5-15.
- Martínez-Peña L.; López-Candela C. 2018. Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. Gestión y Ambiente. 21(1), 110-120.
- Mendoza, Y. I.; I Pérez, J.; Galindo, A. A. 2018. Evaluación del aporte de las plantas acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales municipales. Información tecnológica. 29(2), 205-214.
- Mumtaz, S.; Hashim, N.; Arshad, A.; Abdul, R. 2014. Performance assessment of aquatic macrophytes for treatment of municipal wastewater. Journal of Environmental Health Science & Engineering. 12(106), 1-12.
- Prajapati M.; Bruggen J.; Dalu T.; Malla R. 2017. Assessing the effectiveness of pollutant removal by macrophytes in a floating wetland for wastewater treatment. Appl Water Sci. 7(8),4801-4809.
- Queiroz, R. D. C. S. D.; Lôbo, I. P.; Ribeiro, V. D. S.; Rodrigues, L. B.; Almeida Neto, J. A. D. 2020. Assessment of autochthonous aquatic macrophytes with phytoremediation potential for dairy wastewater treatment in floating constructed wetlands. International journal of phytoremediation. 22(5), 518-528.
- Sandoval Y. L.; Mantilla-Morales G. 2015. Caracterización y tratabilidad de agua residual municipal/industrial por lodos activados. 2º Congreso Nacional AMICA. Asociación mexicana de ingeniería ciencia y gestión ambiental.
- Victor K.K; Sèka Y.; Norbert K.K.; Sanogo T.A.; Celestin A.B.; 2016. Phytoremediation of wastewaters toxicity using water hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) and water lettuce (*Pistia Stratiotes*). Int J. Phytoremediation. 18 (10), 949-955.
- Yeh, N.; Yeh, P.; Chang, Y. 2015. Artificial floating islands for environmental improvement. Renew. Sust. Energ. Rev. 47. 616-622.
- You S. J., Hsu C. L., Chuang S. H. and Ouyang C. F. (2003). Nitrification efficiency and nitrifying bacteria abundance in combined AS-RBC and A2O systems. Water Research. 37, 2281-2290.