

## Post-tratamiento del efluente de un reactor UASB que trata agua residual urbana mediante *Myriophyllum aquaticum* (Verll.) a condiciones tropicales

Post-treatment of the effluent of an UASB reactor treating urban wastewater by *Myriophyllum Aquaticum* ( Verll.) in tropical conditions

Luigi Alfonso Bravo Toledo<sup>1</sup>, Irene Arce Canchari<sup>2</sup>, Renzo Frank Carrasco Miñam<sup>3</sup>.

### RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la remoción de materia orgánica (DQOT) del efluente de un reactor piloto UASB tratado por la hidrófita *Myriophyllum aquaticum* (Verll). **Métodos:** Se establecieron 2 sistemas de tratamiento, con planta acuática (SCP) y un control (SSP). La evaluación se determinó a un caudal de 0,872 ml/s bajo un TRH de 1,7 días a flujo continuo. Los primeros parámetros analizados se realizaron con una frecuencia diaria: pH, Temperatura (°C), Conductividad (uS/cm), Turbidez (NTU), mientras que los siguientes parámetros se analizaron semanalmente: DQO<sub>T</sub> (mg/L), Oxígeno disuelto (mg/L), durante cinco semanas. **Resultados:** Los parámetros que mostraron variación en los sistemas fueron el pH (7,73±0,16 (SSP) y 7,7±0,4 (SCP)), temperatura (17,83±0,88 (SSP) y 17,78±0,95 (SCP)), un aumento de OD (2,2 a 5,2 (SSP) y 2,2 a 7,7 (SCP)), conductividad eléctrica (1055 a 236 (SSP) y 1082 a 1233,5 (SCP)). Se muestra una correlación entre el DQO<sub>T</sub> y el OD (R<sup>2</sup>=0,89) con buen grado de estimación, explicando que un aumento de OD disminuye el DQO<sub>T</sub>. **Conclusiones:** El uso de la hidrófita *M. aquaticum* (Verll) demostró la remoción parcial de materia orgánica, por lo que resulta atractivo su uso para un post-tratamiento de efluentes urbanos provenientes de reactores UASB.

**Palabras clave:** *Myriophyllum aquaticum* (Verll.), reactor UASB, agua residual, condiciones tropicales.

### ABSTRACT

**Objective:** Evaluate the removal of organic matter (COD<sub>i</sub>) from effluent of a pilot UASB reactor treated by the hydrophilic plant *Myriophyllum aquaticum* (Verll). **Methods:** Two sets of treatment systems were established, with aquatic plant (SCP) and a control (SSP). The evaluation was determined at a flow of 0.872 ml/s, under a hydraulic retention time of 1.7 days. The first parameters analyzed were performed with a daily frequency: pH, temperature (°C), conductivity (uS), and turbidity (NTU), while the following parameters were analyzed weekly: COD<sub>T</sub> (mg/L), dissolved oxygen (mg/L), during five weeks. **Results:** The parameters that show variation in both systems were pH (7.73±0.16 (SSP) and 7.7±0.4 (SCP)), temperature (17.83±0.88 (SSP) y 17.78±0.95 (SCP)), increased OD (2.2 a 5.2 (SSP) y 2.2 and 7-7 (SCP)), electric conductivity (1055 to 236 (SSP) and 1082 to 1233.5 (SCP)). A correlation between the COD<sub>T</sub> and the OD (R<sup>2</sup>=0.89) is shown with a good degree of estimation, explaining that an OD increased, reduces the COD. **Conclusions:** The use of the hydrophilic plant *M. aquaticum* (Verll) showed partial removal of organic material, making it attractive to use for post-treatment of urban effluents from UASB reactors.

**Keywords:** *Myriophyllum aquaticum* (Verll.), UASB reactor; urban wastewater, tropical conditions.

<sup>1,2,3</sup> Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos - CITRAR-Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú

## INTRODUCCIÓN

La carga de contaminación orgánica alta antropogénica, a menudo se libera en los cuerpos de agua cercanos a las áreas urbanas (Straskraba y Straskraba, 1994) dando lugar a cambios en la calidad de estas aguas, alterando sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Tchobanoglous, Burton, Stensel, Metcalf y Eddy, 2003). En el Perú se producen anualmente alrededor de 1 000 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales domésticas, de este volumen sólo el 22% es tratado, en Lima sólo es tratada el 9,5% (García, 2012). Las aguas residuales domésticas se caracterizan por altas concentraciones de Sólidos solubles (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno, fósforo, carbono orgánico total (COT) y patógenos microbianos (Ansari, Gill, Gill, Lanza, y Newman, 2015).

En la actualidad una de las tecnologías muy usadas son los sistemas anaerobios para el tratamiento de estas aguas. Una discusión

profunda sobre la evolución y la aplicabilidad de la tecnología anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas fue abarcado por (Chernicharo, 2006) donde se destacan varias características favorables de los procesos anaeróbicos, tales como el bajo costo, simplicidad operativa, sin consumo de energía y baja producción de sólidos.

El reto de adoptar un sistema de post-tratamiento para el efluente de un tratamiento anaerobio es encontrar un proceso adecuado, confiable y eficiente que es simple en la construcción, operación y mantenimiento; tengan menores costos de capital y de energía eficiente (Tai, Singh, y Grant, 2004), las principales contribuciones en la mejora y el desarrollo de los procesos de post-tratamiento en la última década, fueron relacionados con la materia orgánica y la eliminación de patógenos (Chernicharo, 2006). La Tabla 1 muestra las eficiencias en remoción de materia orgánica, de algún sistema de Post-tratamiento convencionales para efluentes de reactor UASB.

**Tabla 1.** Concentraciones de efluentes promedio y eficiencias de remoción materia orgánica (DQO, DBO).

Sistema	La eficiencia media de eliminación			
	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DQO <sub>T</sub> (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (%)	DQO <sub>T</sub> (%)
Reactor UASB	70 - 100	180 - 270	60 - 75	55 - 70
UASB+ lodos activados	20 - 50	60 - 150	83 - 93	75 - 88
UASB+ biofiltro sumergido aireado	20 - 50	60 - 150	83 - 93	75 - 88
UASB+ filtro percolador de alta tasa	20 - 60	70 - 180	80 - 93	73 - 88
UASB+ filtro anaerobio	40 - 80	100 - 200	75 - 87	70 - 80
UASB+ sistema DAF	20 - 50	60 - 100	83 - 93	83 - 90
UASB+ estanques de pulido	40 - 70	100 - 180	77 - 87	70 - 83
UASB+ "overland flow"	30 - 70	90 - 180	77 - 90	70 - 85

Adaptado de (Von Sperling y Chernicharo, 2005).

Como sistema de post-tratamiento las hidrófitas acuáticas son una buena alternativa (Romero, Ramírez, Álvarez y Miranda, 2011), por su capacidad para absorber metales pesados, elementos en medios con alta carga orgánica así permitiendo purificar en alto grado las aguas contaminadas por la agricultura y la industria (Pedraza, 1995; Romero et al., 2011), como también aguas residuales urbanas (Souza, Dzedzic, Cubas y Maranhó, 2013). Estos sistemas emergen como un intento de aprovechar las capacidades de

autodepuración de los hidrosistemas naturales como depuradores naturales (Martelo y Borrero, 2012).

El *M. aquaticum* (Vell.) es una hidrófitas de agua en movimiento, estancada o lenta, y se puede encontrar en aguas poco profundas, se ha introducido en muchas regiones del mundo, hasta el punto que ahora se considera una molestia en muchos lugares (Hussner, Meyer y Busch, 2009; Souza et al., 2013) pero natural

de Sudamérica especialmente Perú, Brasil, Colombia. Según (Henry-Silva y Camargo, 2006; Matamoros, Nguyen, Arias, Salvadó, y Brix, 2012; Souza et al., 2013), el conocimiento de las relaciones entre los hidrófitos y el medio ambiente es de gran relevancia. El conocimiento de una especie invasora y los factores que limitan su crecimiento podría permitir un control adecuado del medio ambiente y la optimización de su uso en los procesos de tratamiento de agua.

Como hipótesis planteamos que el tratamiento del efluente de un reactor UASB por la hidrófita *M. aquaticum* (Vell.), asegura una eficiencia en la remoción de materia orgánica ( $DQO_T$ ). Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la remoción de materia orgánica ( $DQO_i$ ) del efluente de un reactor piloto UASB tratado por la hidrófita *M. aquaticum* (Vell.) como una potencial alternativa de post-tratamiento considerando a esta planta acuática recientemente estudiada muy prometedora para la depuración de aguas residuales (Souza et al., 2013).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Agua residual Urbana

El agua residual fue captada del desagüe principal de dos asentamientos humano "El ángel" y "el Milagro", aledaño al Centro de Investigación de Aguas Residuales CITRAR-UNI. Esta agua captada pasa por un proceso de tratamiento físico (rejas finas y gruesas, desarenador), luego al reactor UASB piloto. La toma del agua residual para la investigación es captada en la salida del reactor piloto UASB.

Parte del efluente del reactor UASB es drenado a un tanque de 500 L para realizar las experiencias con la Hidrófita.

### Preparación y acondicionamiento de la Hidrófita

Con el fin de efectuar las pruebas experimentales necesarias para evaluar el post-tratamiento se requirió el diseño y construcción de un sistema de tratamiento que consistía en 1 tanque (500 L), 2 tanques rectangulares de vidrio. Se operó con flujo de agua residual constante de 0,872 ml/s (García,

2012) los tanques de vidrio tenían dimensiones de (40 cm × 80 cm × 40 cm) donde se colocó al Hidrófita (0,32 m<sup>2</sup> de área de superficie) diferenciándose cada tratamiento en (*M. aquaticum* (Vell.) (SCP) y control (SSP)) para cada tanque de vidrio. El tiempo de retención para la experiencia fue de 1,7 días.

### Parámetros de calidad de agua

Los siguientes parámetros fueron controlados diariamente turbiedad (NTU), conductividad (uS/cm), OD(mg/l), pH, temperatura (°C), en cuanto al  $DQO_i$  se analizaron durante 4 semanas una muestra representativa por semana (Souza et al., 2013).

### Eficiencia de remoción

Las mediciones de cada parámetro se tomaron al comienzo y luego diariamente del experimento (día 0). La ecuación (1) se utilizó para determinar la eficiencia de eliminación (%) en cada semana sobre la base de los promedios del  $DQO_i$  (Kladec, 1999).

$$RE = \left( \frac{WC-C}{WC} \right) * 100 \dots (1)$$

**Dónde:**

**RE:** eficiencia de remoción (%).

**WC:** valor inicial del parámetro de calidad del agua (día 0).

**C:** valor del parámetro de la calidad del agua en el día 15 o 30.

### Cuantificación de la Biomasa de la Planta

Fueron seleccionados 15 tallos con un peso promedio de 222g y fueron colocados en el tanque, la cuantificación final no se llevó a cabo por el comportamiento de crecimiento de la hidrófita.

### Análisis estadísticos

El análisis estadístico fue mediante programa estadístico "R-stadistic" paquete de licencia libre, donde se utilizó una regresión lineal simple para la evaluación el comportamiento de los indicadores.

## RESULTADOS

La (Figura 1) muestra que durante el año 2014 el reactor UASB piloto presento la variación de

$DQO_T$  (media) con una eficiencia de operación por encima de los 60%.

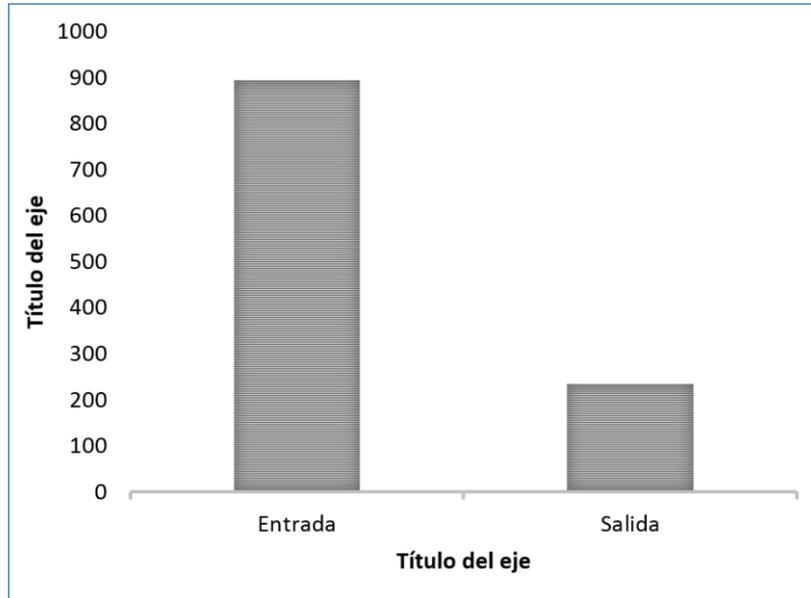


Figura 1. Variación del DQOT del reactor piloto UASB FUENTE: CITRAR-UNI 2014

En La (Figura 2), nos muestra la disminución del DQOT y la turbidez en el agua contaminada. Esta Figura nos dice que el tratamiento con planta acuática presenta mayor reducción de

$DQO_T$  y Turbidez. La Turbidez y el  $DQO_T$  en el agua tratada con *M. aquaticum* tienen el mismo comportamiento y las mismas tendencias.

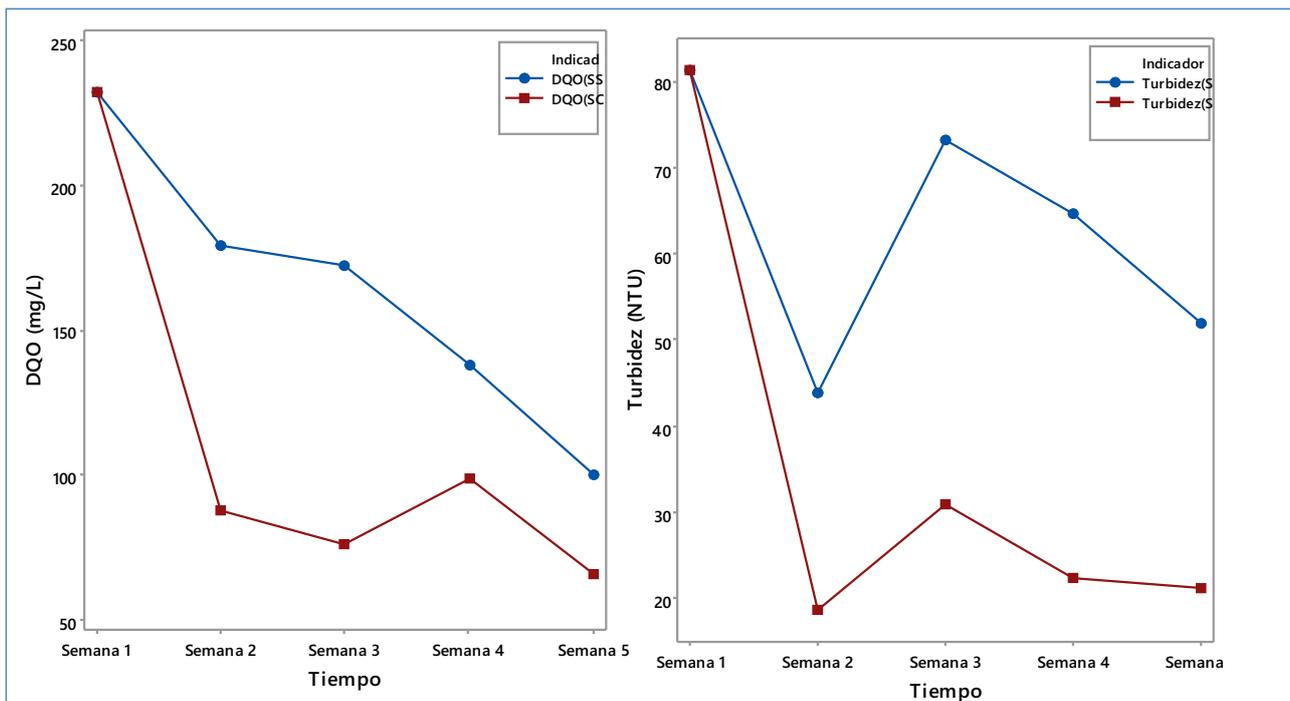


Figura 2. Remoción de Demanda química de oxígeno (DQO) y turbiedad en las 5 semanas de estudio

\*SSP= Sistema de tratamiento sin Hidrófita; SCP= Sistema de tratamiento con Hidrófita

En la (Figura 3), presenté un ajuste exponencial con una buena correlación ( $R^2=0.89$ ) entre el  $DQO_T$  y el OD para el sistema de tratamiento con planta las disminuciones rápidas del DQO en el sistema de tratamiento con plantas se da

cuando el oxígeno llega a un OD de 4 mg/L, luego se mantiene el DQOT en un rango 4 a 8 mg/L manteniéndose el  $DQO_T$  por debajo de 100 mg/L.

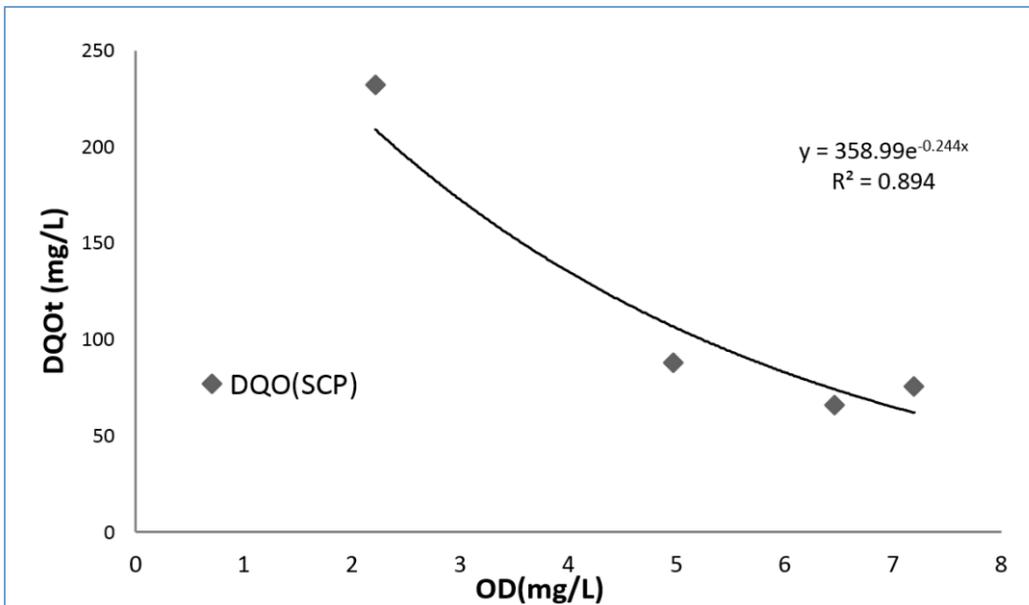


Figura 3. Variación del DQOt respecto al OD

Así mismo el indicador Conductividad (uS/cm) en la Figura 4 muestran los mismos comportamientos para ambos tratamientos, pero, el tratamiento con planta tiene una mayor

disminución durante las 5 semanas, este parámetro se midió de un modo in-situ provocando tomas compuestas.

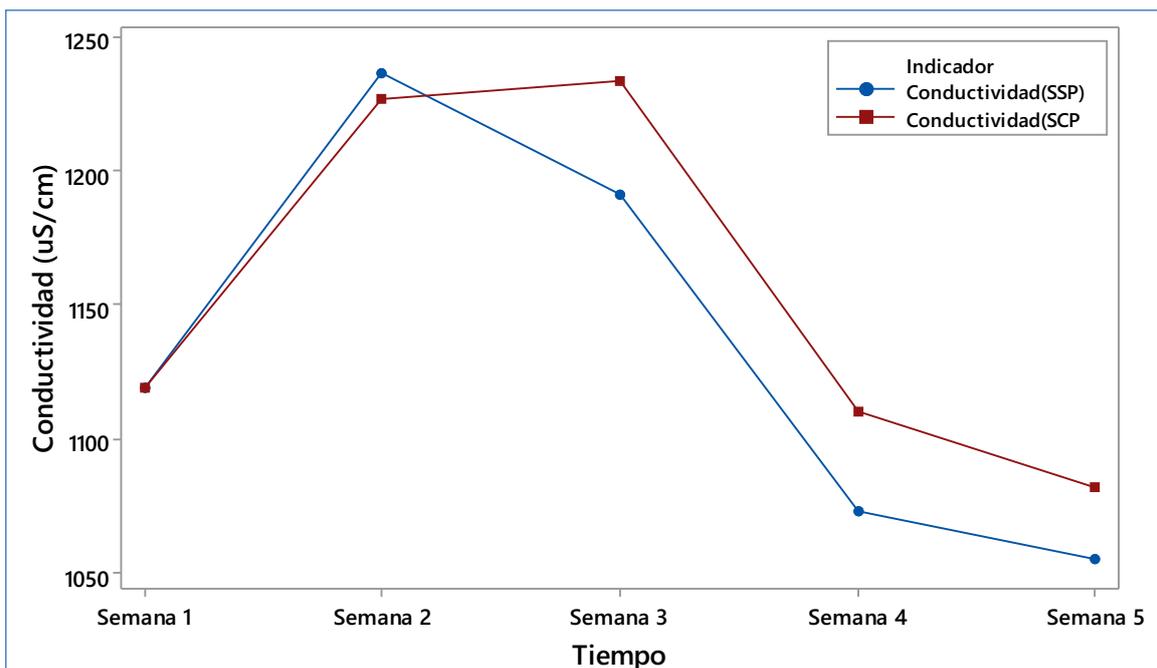


Figura 4. Variación de resultados durante el período de estudio en 4 semanas de la conductividad

Del mismo modo la temperatura y el pH son indicadores de suma importancia. En el (cuadro 2) se muestra los rangos de temperatura y pH. La temperatura en el tratamiento con planta y sin planta se mantiene iguales, mientras que el pH tiende a alcalinizarse ligeramente en ambos tratamientos.

**Tabla 2.** La mediana  $\pm$  desviación estándar de la variación de resultados durante el período de estudio de 4 semanas de la Temperatura y pH.

Parámetros	Afluente	5 <sup>a</sup> semana	
		Rango	
		SSP	SCP
Temperatura	18,49 $\pm$ 0,16	17,83 $\pm$ 0,88	17,78 $\pm$ 0,95
pH	7,2 $\pm$ 0,07	7,73 $\pm$ 0,16	7,7 $\pm$ 0,4

FUENTE: Elaboración Propia

## DISCUSIÓN

La eficiencia del (%) de remoción en  $DQO_T$  fue mayor en el sistema de tratamiento con *M. aquaticum* (Vell.) que su sistema de control, durante todo el experimento. Los mayores porcentajes de eliminación de  $DQO_T$  y Turbidez se lograron en el sistema de tratamiento en la semana 5 y la semana 2 (71,52% y 77,01%, respectivamente). Por los resultados se mostró la eficiencia del tratamiento. Según el estudio realizado por (Kumari y Tripathi, 2014) la razón que se dio para la reducción de DBO y DQO en el cultivo de plantas acuáticas es debido a sistema de raíz de la planta, que actúa como medio adecuado para el crecimiento microbiano proporcionando condiciones oxigénica en la rizosfera produciendo una degradación microbiana de contaminantes orgánicos. Esta conclusión resalta el estudio de (H. Dong, Qiang, Li, Jin, y Chen, 2012; Klomjek y Nitisoravut, 2005) donde concluyen que para una mayor eliminación de los contaminantes orgánicos por *M. aquaticum* (Vell.), en comparación con los demás estudios realizados con otras especies es debido a su morfología específica donde presentan propiedades singulares en su estructura como el desarrollo de estolones absorbentes y el desarrollo del gen "flexibilidad fenotípica" el cual mejora su adaptación a distintos medios. Si bien el sistema de tratamiento mostro una eficiencia en remoción de materia orgánica mayor al 70%, distintos

tratamientos con hidrófitas muestran remociones de materia orgánica, por ejemplo los estudios realizados (Dhote y Dixit, 2009) en un lago contaminado presentan las tasas de eliminación en DQO y DBO de 37,5% usando el hidrofito sumergido *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (*Hydrocharitaceae*). (Dai, Jia, Liang, Hu, y Wu, 2012) encontraron que el uso de esta planta acuática *Ceratophyllum demersum* L. puede mejorar la calidad del agua, presentando una reducción en  $DQO_s$  de 30,83%. Estudios realizados por (Kumari y Tripathi, 2014) observaron que en un tiempo de retención hidráulica de 36 h fue suficiente para minimizar la DQO de 309,0  $\pm$  2,2 a 51,9  $\pm$  3,9 mg.L<sup>-1</sup> aireando un cultivo mixto de *Eichhornia crassipes* y *Salvinia natans*. También se encontró hallazgos similares reportados por (Klomjek y Nitisoravut, 2005) quien observó mayor reducción de  $DBO_5$  (72,4-78,9%) en unidades plantadas con hidrófitas emergentes en comparación con uno sin plantar. La investigación realizado por (Souza et al., 2013) ha informado reducciones de hasta 67,4% para el  $DQO_T$  con *M. aquaticum* (Vell.) en una prueba de lotes durante 30 días.

El indicador influyente y la razón posible para mejorar la remoción de los contaminantes orgánicos ( $DBO_5$ , DQO) de aguas residuales fue relacionado a un aumento de OD que se da por aireación de la planta acuática al medio por sus raíces, lo que aumenta la velocidad de oxidación (Kumari y Tripathi, 2014), la eficiencia en la eliminación de materia orgánica es debido a la tasa de nitrificación y la degradación de fosfato en condiciones oxigénica promoviendo la desnitrificación, este proceso promueve un efecto positivo en la eliminación de contaminantes orgánicos (W. Y. Dong et al., 2009), por lo que el aporte de OD de la hidrófita mantiene un efecto positivo en la remoción de materia orgánica. Las concentraciones de Oxígeno Disuelto en la entrada es bajo por tratarse de un efluente del reactor UASB muestra que a medida que aumenta el oxígeno en el agua el  $DQO_T$  disminuye.

La alta concentración de iones se reflejó en la conductividad del afluente (1119,3 $\pm$ 82,62 microsiemens) durante las primeras semanas según la luegodisminuyendo a (1110 $\pm$ 95,56 microsiemens), coincidiendo con la semana donde hubo la menor remoción de materia orgánica 57,28%.

(Kirk, 1995) resalta que la temperatura influye en la producción primaria de los hidrófitos ya que controla la velocidad de las reacciones químicas en la planta acuática. Los valores de temperatura en las 4 semanas oscilaron entre 17-20 °C. Las pruebas se realizaron en invierno, los resultados (Tabla 2) mostraron una ligera disminución de la temperatura del afluente  $18,49 \pm 0,16$  °C en el sistema control y en el sistema con plantas  $17,83 \pm 0,88$ ;  $17,78 \pm 0,95$ , respectivamente, la diferencia de temperatura en el sistema de control y el sistema con *M. aquaticum* fue mínima (0,05), pero cabe resaltar que la temperatura juega el rol más importante en el desarrollo del *M. aquaticum* (Vell.) Según (Souza et al., 2013) las hojas emergidas de *M. aquaticum* (Vell.), por ejemplo, evitan la radiación de golpear la superficie del agua, ya que en su investigación hay una variación de temperatura de más de 1 °C respecto al tratamiento sin planta., según (Pezato y Camargo, 2004) sugieren que la variación de la temperatura posiblemente no influye en el aumento de *M. aquaticum* (Vell.), mientras que en las temperaturas de 17 °C en invierno, se evidencio un crecimiento y una buena adaptación de esta planta del en la una zona tropical.

En cuanto al pH del afluente que ingresa al sistema tiende a la neutralidad, mientras a sistema de control y el sistema de tratamiento por *M. aquaticum* (Vell.), muestran un promedio de 7,7 en pH. Los resultados muestran de esto las dos plantas tienen una tendencia ligeramente alcalina (7,7 promedio). Esto va de acuerdo a (Malheiro, Jahns, y Hussner, 2013) que la tendencia a la neutralidad permite la aclimatación de *M. aquaticum* sumergido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ansari, A. A., Gill, S. S., Gill, R., Lanza, G. R. & Newman, L. (Eds.). (2014). *Phytoremediation: Management of environmental contaminants (Vol. 1)*. Springer.
- Chernicharo, C. D. (2006). Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 5(1), 73–92.
- Dai, Y., Jia, C., Liang, W., Hu, S. & Wu, Z. (2012). Effects of the submerged macrophyte *Ceratophyllum demersum* L. on restoration of a eutrophic waterbody and its optimal coverage. *Ecological Engineering*, 40, 113–116.
- Dhote, S. & Dixit, S. (2009). Water quality improvement through macrophytes - A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1-4), 149–153.
- Dong, H., Qiang, Z., Li, T., Jin, H. & Chen, W. (2012). Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 596-601.
- Dong, W. Y., Wang, H. J., Li, W. G., Ying, W. C., Gan, G. H. & Yang, Y. (2009). Effect of DO on simultaneous removal of carbon and nitrogen by a membrane aeration/filtration combined bioreactor. *Journal of Membrane Science*, 344(1), 219-224.
- Malheiro, A. C. E., Jahns, P. & Hussner, A. (2013). CO<sub>2</sub> availability rather than light and temperature determines growth and phenotypical responses in submerged *Myriophyllum aquaticum*. *Aquatic botany*, 110, 31-37.
- Henry-Silva, G. G. & Camargo, A. F. M. (2006). Efficiency of aquatic macrophytes to treat Nile tilapia pond effluents. *Scientia Agricola*, 63(5), 433-438.
- Hussner, A., Meyer, C. & Busch, J. (2009). The influence of water level and nutrient availability on growth and root system development of *Myriophyllum aquaticum*. *Weed Research*, 49(1), 73-80.
- Kirk, J. T. O. (1995). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. *ACTA PHYSIOLOGIAE PLANTARUM*, 17, 100-100.
- Kadlec, R. H. (1999). Chemical, physical and biological cycles in treatment wetlands. *Water Science and Technology*, 40(3), 37-44.
- Klomjek, P. & Nitisoravut, S. (2005). Constructed treatment wetland: a study of eight plant species under saline conditions. *Chemosphere*, 58(5), 585-593.

- Kumari, M. & Tripathi, B. D. (2014). Effect of aeration and mixed culture of *Eichhornia crassipes* and *Salvinia natans* on removal of wastewater pollutants. *Ecological Engineering*, 62, 48-53.
- Martelo, J. & Borrero, J. A. L. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ing Cienc*, 8, 221-243.
- Matamoros, V., Nguyen, L. X., Arias, C. a., Salvadó, V. & Brix, H. (2012). Evaluation of aquatic plants for removing polar microcontaminants: A microcosm experiment. *Chemosphere*, 88(10), 1257-1264.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L. & Stensel, H. D. Metcalf & Eddy, (2003).". *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, 4.
- Pedraza, G. X. (1994). Reciclaje del efluente de origen animal con tres especies de plantas acuáticas. *Livestock Research for Rural Development*, 6(1), 12.
- Pezzato, M. M. & Camargo, A. F. M. (2004). Photosynthetic rate of the aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch. (Hydrocharitaceae) in two rivers from the Itanhaém River Basin in São Paulo State, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(1), 153-162.
- Romero-Ortiz, L., Ramírez-Vives, F., Álvarez-Silva, C. & Miranda-Arce, M. G. (2011). Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro. *Polibotánica*, (31), 157-167.
- Souza, F. A., Dzedzic, M., Cubas, S. A. & Maranhão, L. T. (2013). Restoration of polluted waters by phytoremediation using *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., Haloragaceae. *Journal of environmental management*, 120, 5-9.
- Straškraba, M. (1994). Ecotechnological models for reservoir water quality management. *Ecological Modelling*, 74(1-2), 1-38.
- Tai, C. S., Singh, K. S. & Grant, S. R. (2004). A novel two stage integrated anaerobic-aerobic bio-treatment system for low strength wastewater. In *Proceedings of the 10th World Congress on Anaerobic Digestion-Anaerobic Digestion* (1051-1057).
- Von Sperling, M. & de Lemos Chernicharo, C. A. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions Volume II. *Water Intelligence Online*, 4, 9781780402703.
- García, Z. M. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

**Correo electrónico:**

luibravooo@gmail.com

**Revisión de pares:****Recibido:** 16-02-2016**Aceptado:** 22-02-2016