

## REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES COMUNITARIAS MEDIANTE HUMEDALES DE TRATAMIENTO: EFECTO DE LA VEGETACIÓN Y POSICIONAMIENTO DE SEMBRADO PARA CONDICIONES DE DISEÑO

## REMOVAL OF POLLUTANTS FROM COMMUNITY WASTEWATER THROUGH TREATMENT WETLANDS: EFFECT OF VEGETATION AND POSITIONING OF SEEDING FOR DESIGN CONDITIONS

Marín-Muñiz J.L.<sup>1\*</sup>, López-Alba E<sup>2</sup>, Sandoval Herazo L.C<sup>3</sup>, Zamora S<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Academia de Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. Xalapa, Veracruz. Carrillo Puerto, 26. 91000.

<sup>3</sup> Wetlands and Environmental Sustainability Laboratory, Division of Graduate Studies and Research, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Miantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Miantla 93821, Veracruz, México .

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería, Construcción y Habitación, Universidad Veracruzana, Bv. Adolfo Ruíz Cortines 455, Costa Verde, Boca del Rio 94294, Veracruz, Mexico

\* jmarin@colver.info

### Artículo Científico

Publicado: 30 abril 2024

### RESUMEN

La escasez de agua de calidad es una situación común a nivel mundial, esto derivado de la falta de plantas de tratamiento, que por sus altos costos no se replican. Lo anterior, se agudiza en zonas rurales donde es necesaria la implementación de sistemas sustentables para solventarlo. Este estudio evaluó el uso de humedales de tratamiento de flujo subsuperficial horizontal para limpiar las aguas residuales comunitarias de Pastorías, Actopan, Veracruz., utilizando a su vez plantas ornamentales y evaluando su función en la remoción de contaminantes y su importancia de ubicación de sembrado dentro del humedal. Evaluamos 6 celdas (4 x 0.8 x 1 m), rellenas de piedra porosa y residuos rugosos plásticos. 2 celdas fueron sembradas con *Typha* sp., 2 con

*Spathiphyllum blandum* y también se dejaron 2 celdas sin plantas como controles. Se midió crecimiento de plantas de acuerdo con el posicionamiento de sembrado y remoción de contaminantes en forma de DQO, NT y PT. Los resultados mostraron que, sin importar la especie de plantas, las remociones para los 3 parámetros en las celdas con vegetación oscilaron entre 70-90 %, mientras que en los controles las remociones fueron entre 40-70%. Sin embargo, el crecimiento de plantas se vio afectado por la posición, al menos para *Spathiphyllum blandum*, y *Typha* creció de manera similar en los 4 m del sistema, indicando su alta capacidad de adaptación a condiciones de humedales y aguas negras. Lo anterior revela la utilidad de plantas en humedales de tratamiento y cómo éstas deben

sembrarse para mejorar la eliminación de contaminantes.

**Palabras clave:** Agua, biorremediación, fitorremediación, contaminación, sustentabilidad.

## ABSTRACT

The scarcity of quality water is a common situation worldwide, this is derived from the lack of treatment plants, which due to their high costs are not replicated. This is exacerbated in rural areas where the implementation of sustainable systems is necessary to solve it. This study evaluated the use of horizontal subsurface treatment wetlands to clean community wastewater from Pastorías, Actopan, Veracruz, using ornamental plants and evaluating their role in removing contaminants and the importance of planting location within the wetland. We evaluated cells (4 x 0.8 x 1 m), filled with porous stone and rough plastic waste. 2 cells planted with *Typha* sp., 2 with *Spathiphyllum blandum* and 2 cells without plants were also left as controls. Plant growth was measured according to planting position and contaminant removal in the form of COD, TN and TP. The results showed that regardless of the plant species, the removals for the 3 parameters in the cells with vegetation ranged between 70-90%, while in the controls the removals were between 40-70%. However, plant growth was affected by position, at least for *Spathiphyllum*, and *Typha* grew similarly in the 4 m of the system, indicating its high adaptability to wetland and wastewater conditions. The foregoing

reveals the usefulness of plants in treatment wetlands and how they should be planted to improve the removal of pollutants.

**Keywords:** Water, biorremediation, phytoremediation, pollution, sustainability.

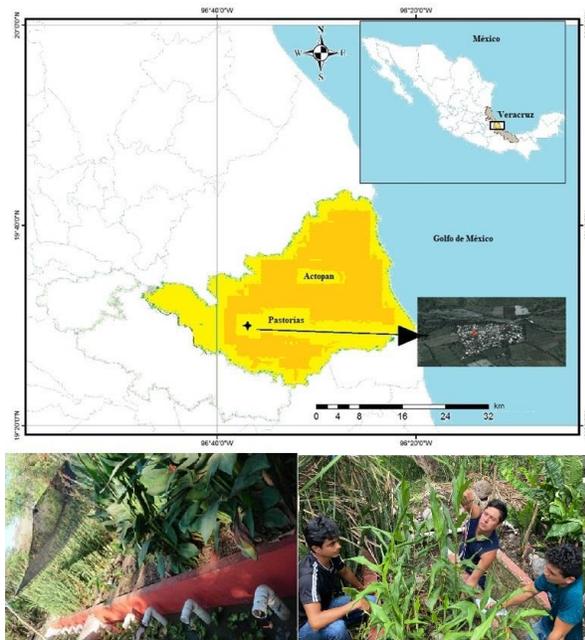
## INTRODUCCIÓN

El uso excesivo de los recursos hídricos ante el crecimiento poblacional es una situación constante y aún más la falta de plantas de tratamiento [1]. La reutilización del agua usada sería una forma de disminuir el consumo hídrico y favorecer la presencia del recurso a largo plazo, esto solo sería posible si tal agua pudiera ser liberada de los contaminantes con los que es descargada, para ello sería necesario el uso de sistemas de tratamiento de agua que sean ecológica y económicamente viables, una opción así, son los humedales construidos, los cuales mediante procesos físicos, químicos y biológicos favorecen la remoción de contaminantes [2].

El uso de estas alternativas en México ha sido escaso [3], pero ha demostrado su funcionalidad con plantas ornamentales del país [4,5], sin embargo, poco se sabe del mejor acomodo de la vegetación en celdas de humedales para favorecer remoción y mejor desarrollo de las especies, por lo cual el objetivo de este estudio es analizar la funcionalidad de un humedal tratando aguas residuales comunitarias y sembrado con plantas ornamentales y cómo el posicionamiento de estas favorece su crecimiento.

## METODOLOGÍA

El estudio se ejecutó en la comunidad de San José Pastorías, municipio de Actopan, Veracruz, en la zona central del estado de Veracruz (552 habitantes [6]) a los 19°33' 53" N, 96° 34' 16" O, a una altitud de 260 msnm (Figura 1). Tal población fue considerada porque antes de la intervención carecía de tratamiento y el agua residual era descargada al río comunitario "Topiltepec", afluente de la cuenca Actopan.



**Figura 1.** Ubicación sitio de estudio.

El humedal construido (HC) estudiado se basó en 6 celdas (4 x 0.8 x 1 m) de concreto de flujo horizontal subsuperficial. Todas las celdas fueron rellenas de residuos de plástico polipropileno para el caso de las taparrocas, y de PET reutilizado para el caso de los cuellos de botellas y bases con dobleces de las botellas. Sobre el relleno de plástico una

capa de 15 cm de grava volcánica fue colocada. Las celdas con vegetación incluyeron 2 celdas sembradas con 8 plántulas *Spathiphyllum blandum*, y 2 celdas con 8 plántulas de *Typha* sp. (plantas de la región). Las 2 últimas celdas fueron sin presencia de vegetación como controles. El agua residual llegaba del drenaje comunitario a una fosa de almacenamiento que funcionó como estanque de sedimentación (tratamiento primario) y después pasaba por una malla o criba (tratamiento secundario) para separación de sólidos y posteriormente se hacía llevar por gravedad mediante tuberías a las celdas de HC como tratamiento terciario, manteniendo un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 4 días.

Durante 6 meses (octubre 2018-marzo 2019) se midieron las concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO), amonio (N-NH<sub>4</sub>) y fósforo total (PT) tanto a la entrada como a la salida de los HC. Las muestras fueron analizadas mediante técnicas colorimétricas y comparadas con los límites máximos permitidos (LMP) de acuerdo con la norma oficial mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996).

Se evaluó el crecimiento de las plantas de acuerdo con la altura mediante un flexómetro, después del sembrado que se realizó a finales de enero 2018, con plántulas con altura promedio de 20 cm, se estableció una primera medición a los 9 meses de sembrado (octubre 2018), posteriormente, se realizó una segunda medición a los 5 meses (marzo 2019).

Las celdas de 4 m de largo y 0.80 m de ancho, fueron seccionadas en 4 segmentos de 1 m cada uno, en los cuales se realizó la comparación de crecimiento entre segmentos a lo largo de las celdas, quedando dos especies por segmento (8 plantas por celda).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Remoción de contaminantes.** La limpieza del agua mediante HC es una alternativa sustentable cuando su eficiencia en remoción favorece su reutilización, en México su utilidad ha sido principalmente a nivel laboratorio para efectos de evaluación [3,5], aún son pocos los proyectos con HC atendiendo problemas reales y aún menos los que exploren nuevos sustratos reutilizados como en este estudio. Durante 6 meses de operación del sistema, se observaron concentraciones de DQO que oscilaron entre 200 y 350 mg/L en la entrada del sistema, mientras que a la salida las concentraciones variaron entre 20 y 30 mg/L, siendo hasta 10 veces menor la concentración al pasar por el HC, indicando su funcionalidad para eliminación de materia orgánica en forma de DQO (**Figura 2**). Con las concentraciones dadas se logró remover entre 80% y 86% en los controles, y entre 88% y 90% para los sistemas con vegetación. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (NOM-001 SEMARNAT, 1996), el LMP que reporta para DBO es de 30 mg/L, considerando que el DQO incluye DBO, lo sistemas con vegetación presentaron

concentraciones de éste hasta en 25 mg/L, indicando la funcionalidad del sistema y el cumplimiento de la norma para este parámetro. Lo anterior demuestra que cerca de un 10% de mayores remociones fueron efecto de la fitorremediación, sin notarse variabilidad entre el tipo de plantas. Remociones similares en otros HC han sido reportadas, a pesar de que, en tales casos, el sustrato utilizado ha sido material pétreo [7]. Las remociones observadas en ausencia de vegetación son asociadas a procesos de sedimentación y filtración, en conjunto con los procesos biológicos, además el TRH manejado se encuentra dentro de los reportados como óptimos para la disminución de materia orgánica [8].

En cuanto al nitrógeno en forma de amonio, se observaron concentraciones entre 13 y 28 mg/L en las entradas del sistema (**Figura 3**). En las celdas sin presencia de plantas el amonio osciló entre 7 y 16 mg/L, mientras que en los sistemas con vegetación el rango de concentraciones fue entre 2 y 4 mg/L (**Figura 3**). En cuanto a remociones del nutriente en forma de amonio en los controles, estas oscilaron entre 37 y 41%. Mientras que en las celdas con plantas las remociones observadas se mantuvieron entre 70 y 88%, lo cual revela la importante eliminación del compuesto nitrogenado. Cabe mencionar que gran parte del nitrógeno consumido pudo haberse dado por la absorción del nutriente por las plantas para su crecimiento. Otro caso también común en

HC como resultado del ciclo del nitrógeno puede ser debido a que el amonio es convertido a nitratos en condiciones aerobias (nitrificación), en los HC esto se da en el área de rizósfera [9]. Aunque en este estudio no se midieron los nitratos, la medición de amonio y las remociones observadas entre controles y celdas con plantas demuestran el proceso de biorremediación mediante fitorremediación.

Dado que en las normas mexicanas este parámetro (N-NH<sub>4</sub>) no está considerado,

comparamos con lo establecido por La agencia de protección ambiental de Taiwan, la cual describe que concentraciones superiores a 3 mg/L de amonio en ríos, ya es considerado altamente contaminado [10]. En este estudio las remociones fueron superiores al 85%, pero aun así hubo celdas con remociones entre 3 y 4 mg/L, lo cual podría disminuir si se establecen humedales híbridos, agregando quizá un sistema de humedales subsuperficiales, pero de flujo vertical.

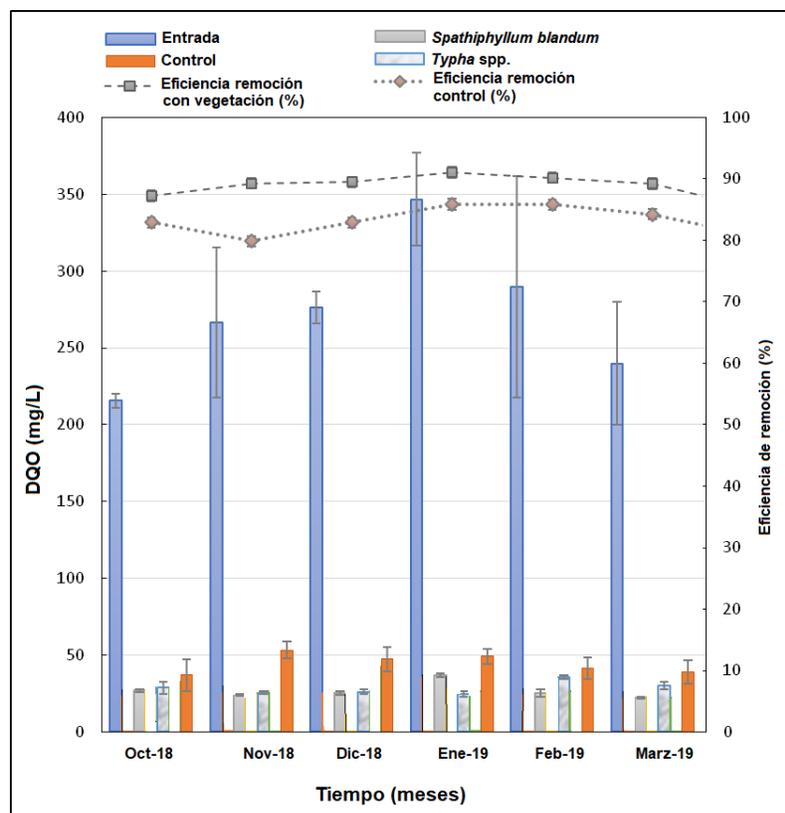


Figura. 2. Concentración y remoción de DQO en los humedales en estudio

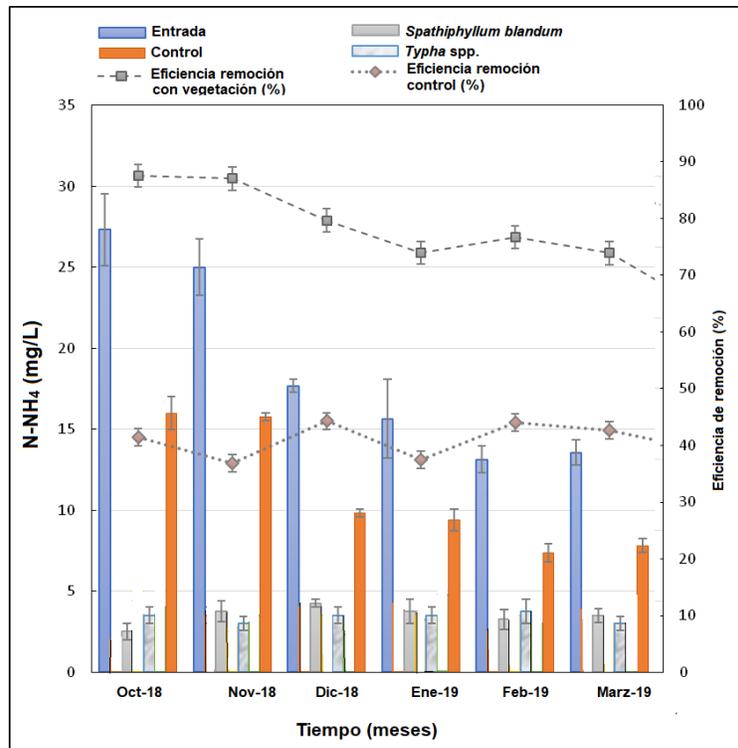


Figura. 3. Concentraciones y remoción de amonio en los humedales en estudio

Para el caso de la concentración de fósforo como fósforo total, en la entrada de las celdas éste osciló de 13 a 16 mg/L, mientras que en los controles las concentraciones variaron de 12 a 19 mg/L (**Figura 4**), notándose con ello muy pocos cambios para tal parámetro. Para el caso de las celdas con presencia de plantas si se observaron concentraciones menores que se mantuvieron entre 2 y 3 mg/L. El LMP de acuerdo con las Norma Oficial Mexicana es de 5 mg/L, por lo que se cumple con la norma. Las remociones observadas en los controles, apenas fueron alrededor del 5%, mientras que para celdas con plantas éstas fueron entre 82 y 88%. Lo observado pudo deberse a la absorción de las plantas del fósforo en sus tejidos, en sí el proceso de fitorremediación. El fósforo es un

nutriente primario para el crecimiento de las especies, lo cual demuestra que este tipo de plantas con el sustrato utilizado favorecen tales procesos de biorremediación del fósforo total. Otras precipitaciones con aluminio, hierro o calcio pueden darse con el elemento fósforo en los humedales [8, 9], sin embargo, en este caso no los podemos atribuir a eso porque en este estudio no se midieron tales elementos químicos. La conjunción de plásticos rugosos o con dobleces y de las plantas en estudio, hace recomendable su uso en futuros proyectos de intervención de tratamiento de aguas residuales con HC. Además, nuevos estudios sobre el aprovechamiento de las plantas pueden generarse para propiciar mayor aceptación de los HC. Una reciente

investigación sobre temas de sustentabilidad [11], describió que la vegetación cultivada en humedales construidos provee potencialidades ambientales, económicas y sociales. Entre las sociales destacan las

actividades artesanales y ornamentales que pueden aprovecharse del uso de las plantas que el HC genera, lo cual podría favorecer la adopción y apropiación de la ecotecnología por los usuarios.

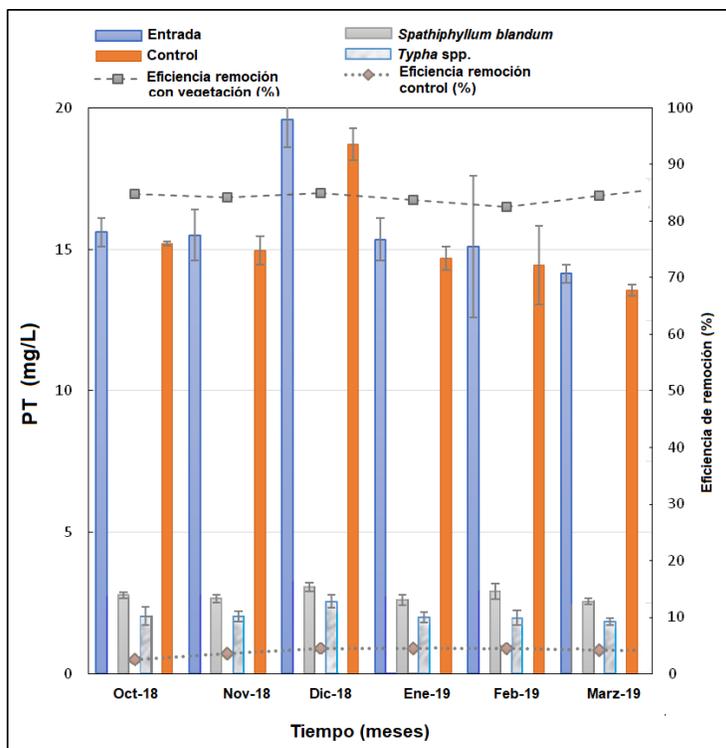


Figura. 4. Concentraciones y remoción de fósforo total en los humedales en estudio

La conjunción de plásticos rugosos o con dobleces y de las plantas en estudio, hace recomendable su uso en futuros proyectos de intervención de tratamiento de aguas residuales con HC. Además, nuevos estudios sobre el aprovechamiento de las plantas pueden generarse para propiciar mayor aceptación de los HC. Una reciente investigación sobre temas de sustentabilidad [11], describió que la vegetación cultivada en humedales

construidos provee potencialidades ambientales, económicas y sociales. Entre las sociales destacan las actividades artesanales y ornamentales que pueden aprovecharse del uso de las plantas que el HC genera, lo cual podría favorecer la adopción y apropiación de la ecotecnología por los usuarios.

**Posicionamiento de sembrado de las especies.** Durante el primer muestreo, la planta *Spathiphyllum blandum* mostró

mejor desarrollo en las primeras dos celdas (85-87 cm), ya que en las últimas dos celdas la altura fue de entre 64 y 73cm, lo cual indica que la especie, al menos en este periodo de muestreo, soporta las cargas de nutrientes de entrada y su desarrollo se ve favorecido en tal posición. Por otro lado, para el caso de la hidrófita facultativa *Typha sp.*, su crecimiento fue homogéneo en los 4 segmentos (217-265 cm), mostrando buen desarrollo derivado de ser una planta nativa de humedales, en comparación con la primera que es una planta ornamental terrestre, adaptada a condiciones de HC.

Para el segundo muestreo realizado a los 5 meses después del primer muestreo (**Tabla 2**), se detectó que *Sphatiphyllum blandum* no mostró variación en las celdas del segmento 3 y 4 en ambos muestreos con relación a la posición de sembrado y crecimiento de las plantas con mayor crecimiento en los segmentos 1 y 2 de ambos muestreos. Por otro lado, la hidrófita facultativa, *Typha sp.* su mayor crecimiento fue en tres segmentos (1, 2 y 4) en comparación del primer muestreo (**Tabla1**), el segmento 3 con menor altura de 164.9 cm, en comparación con el segmento 1 en ambos muestreos.

Lo anterior nos indica que la especie *Typha* se adapta muy fácilmente, pero que su ubicación debe ser preferentemente al inicio de las celdas y que en las últimas secciones de la celda otras plantas ornamentales podrían

aprovecharse, caso similar para la ornamental *Sphatiphyllum blandum*. Dicha planta también ha sido probada para otro tipo de contaminantes incluyendo compuestos químicos médicos [12, 13], lo cual sumado a lo observado en este estudio demuestra su sugerencia de uso en los nuevos diseños de humedales a implementar, pero considerando su mejor posicionamiento de acuerdo con lo observado en este estudio.

**Tabla. 1.** Altura de plantas en primer muestreo. Promedio (cm)  $\pm$  error estándar.

	<i>Sphatiphyllum blandum</i>	<i>Typha sp.</i>
Muestreo 1		
<b>Segmento 1</b>	86.5 $\pm$ 9.8	217.4 $\pm$ 19.4
<b>Segmento 2</b>	85.8 $\pm$ 2.0	264.6 $\pm$ 16.1
<b>Segmento 3</b>	72.5 $\pm$ 7.3	235.6 $\pm$ 17.0
<b>Segmento 4</b>	64.7 $\pm$ 15.9	242.8 $\pm$ 9.2
Muestreo 2		
<b>Segmento 1</b>	85.8 $\pm$ 16.0	216.8 $\pm$ 10.7
<b>Segmento 2</b>	88.3 $\pm$ 12.4	229.2 $\pm$ 6.4
<b>Segmento 3</b>	82.1 $\pm$ 8.1	164.9 $\pm$ 28.0
<b>Segmento 4</b>	70.2 $\pm$ 24.1	197.8 $\pm$ 9.9

Del segmento 1 al 4 indican de entrada a salida del sistema.

## CONCLUSIONES

El tratamiento de las aguas residuales para su reutilización es una necesidad urgente, el uso de HC como alternativa sustentable es viable en la remoción de DQO, amonio y fósforo total, este último requiere aún mayor tratamiento que solo con un sistema de HC subsuperficial de flujo horizontal. Las dos especies

estudiadas fueron excelentes removedoras de contaminantes, su posicionamiento dentro de las celdas de HC es preferible desde la entrada hasta antes de la salida, donde estas crecen de mejor manera. Nuevas especies ornamentales podrían analizarse en cuanto a su mejor posición dentro de HC para mejor desarrollo vegetal y mejor eliminación de contaminantes.

## REFERENCIAS

- [1] CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. "Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación", Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, diciembre 2021. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>
- [2] Marín-Muñiz, J.L. (2017). Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reúso del agua, *Agroproductividad*, 10, 5, 90-95
- [3] García-García, P.L., Ruelas-Monjardín, L. & Marín-Muñiz, J.L. (2016). Constructed wetlands: a solution to water quality issues in Mexico? *Water Policy*, 18, 654-669.
- [4] Hernández, M. E. (2016). Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 2, 1, 1-12.
- [5] Rodríguez-Domínguez, M.A., Konnerup, D., Brix, H. & Arias, C. (2020). Constructed wetlands in Latin American and the Caribbean: a review of experiences during the last decade. *Water*, 12, 1744.
- [6] INEGI (2010). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Censos nacionales. <http://www.inegi.gob.mx>.
- [7] Marín-Muñiz, J.L. (2016). Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Actopan, Veracruz, México" *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15, 2, 553-563.
- [8] Wang, Y., Cai, Z., Sheng, S., Pan, F., Chen, F. y Fu, J. (2020). Comprehensive evaluation of substrate materials for contaminants removal in constructed wetlands, *Science of The Total Environment*, 701, 134736.
- [9] Mitsch, WJ. & Gosselink, JG. (2015). *Wetlands*, 15 ed. John Wiley & Sons, Nueva York.
- [10] Wetzel, R. (1981). *Limnología* Omega, 1st edition. Barcelona, España.
- [11] Zitácuaro-Contreras, I., Vidal-Álvarez, M., Hernández y Orduña, M.G., Zamora-Castro, S.A., Betanzo-Torres, E.A., Marín-Muñiz, J.L. & Sandoval-Herazo, L.C. (2021). Environmental, economic, and social potentialities of ornamental vegetation cultivated in constructed wetlands of Mexico. *Sustainability*, 13, 6267.
- [12] Fernández-Lambert, G. y Zurita, F. (2020). Effect of *Spathiphyllum blandum* on the removal of ibuprofen and conventional pollutants from

polluted river water, in fully saturated constructed wetlands at mesocosm level. *Journal of water and health*, 18, 2, 224-228.

- [13] Sandoval, L., Zurita, F., Del Ángel-Coronel, O.A., Adame-García, J. & Marín-Muñiz, J.L. (2020). Influence of a new ornamental species (*Spathiphyllum blandum*) on the removal of COD, nitrogen, phosphorus and fecal coliforms: a mesocosm wetland study with PET and tezontle substrates. *Water Science and Technology*, 81, 5, 961-970.