



Consideraciones operativas de humedales construidos a partir de seis años de operación: caso de estudio en San José Pastorías Actopan, Veracruz.

Operational considerations of constructed wetlands after six years of operation: case study in San José Pastorías Actopan, Veracruz.

José Ricardo González-Hernández¹, Yulissa Rivas-Hernández¹, Jassiel Obed Santiago-Peredo¹, José Luis Marín-Muñoz¹ y Sergio Zamora²

¹ Academia de Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto 26. Centro 91000. Xalapa, Veracruz, México.

²Facultad de Ingeniería, Construcción y Hábitat, Universidad Veracruzana, Bv. Adolfo Ruíz Cortines 455, Costa Verde, Boca del Rio 94294, Veracruz, Mexico/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: jmarin@colver.info

Recibido 03 de septiembre 2023; recibido en forma revisada 06 de octubre 2023; aceptado 05 de noviembre 2023

RESUMEN

La calidad del agua es una necesidad a nivel mundial, los sistemas de tratamiento de aguas son una opción necesaria pero no ampliamente usada por los altos costos que se requieren para construirlos y operarlos. Los humedales construidos (HC) son una alternativa sustentable para el tratamiento del agua que en México ya se usa de manera paulatina en varios sitios como Pastorías, Actopan., Veracruz, donde se realizó un diagnóstico operativo a un sistema que trata las aguas residuales comunitarias desde 2017, esto con el fin de si a seis años de funcionamiento requiere manejo adecuado o cambios que permitan su operatividad a largo plazo. Mediante el análisis de causa-efecto se detectaron detalles de obstrucción de hidráulica, manejo de plagas de vegetación,

alimentación de pre sistemas y celdas de humedales y de operaciones, a las cuales una vez detectadas se les hicieron propuestas para su mejora, así como consideraciones de vigilancia de los sistemas para evitar taponamientos. Este tipo de acciones resultan primordiales para favorecer la función de tratamiento de agua. También se concluye que es pertinente mayor trabajo con la sociedad para una mejor adopción y apropiación de la ecotecnología.

Palabras clave: humedales de tratamiento, funcionalidad, planeación, diagnóstico.

ABSTRACT

Water quality is a global need, water treatment systems are a necessary option but not widely used due to the high costs required to build and operate them. Constructed wetlands (HC) are a sustainable alternative for water treatment that in Mexico is already used gradually in several places such as Pastorías, Actopan., Veracruz, where an operational diagnosis was carried out on a system that treats community wastewater. since 2017, this in order to determine whether after six years of operation it requires adequate management or changes that allow its long-term operation. Through the cause-effect analysis, details of hydraulic obstruction, management of vegetation pests, feeding of pre-systems and wetland cells and operations were detected, to which once detected, proposals were made for their improvement, as well as considerations. monitoring of the systems to avoid blockages. These types of actions are essential to promote the water treatment function. It is also concluded that more work with society is pertinent for better adoption and appropriation of ecotechnology.

Keywords: treatment wetlands, functionality, planning, diagnosis.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mundo enfrenta problemas ambientales debido al rápido crecimiento de la población, ejerciendo presión sobre los recursos naturales, por lo que es necesario apreciar el valor de los ecosistemas, sus funciones y servicios de agua, energía, producción de alimentos, salud y bienestar (Magwaza *et al.* 2020).

El tratamiento de aguas residuales es de vital importancia para prevenir enfermedades, ya que el agua residual contiene patógenos que pueden generar problemas en la salud de las personas, así como de alterar las condiciones ambientales (Diaz-Cuenca *et al.*, 2012), ya que los contaminantes presentes pueden generar impactos negativos a los ecosistemas acuáticos, si no son tratadas antes de su descarga.

En este sentido, los humedales construidos, que de acuerdo al tipo de flujo pueden ser de flujo superficial (HCS) o subsuperficial (HCSS), son ecotecnologías basadas en la naturaleza. Los primeros son los más semejantes a los humedales naturales, porque la columna de agua está en contacto con la atmósfera (Brix y Arias, 2005;

Vymazal, 2022). En ellos puede haber vegetación enraizada al suelo que emerge sobre la columna de agua (emergente), o aquella que nunca sale de la columna de agua (sumergida), o aquella cuyas raíces están en el agua y sus hojas flotan sobre la columna de agua (flotantes).

En el caso de los humedales subsuperficiales, las celdas son rellenas de un medio granular (grava, piedra porosa de río, tepezytl, tezontle), por dicho medio de sustrato pasa el agua a tratar y funciona tanto como filtro como medio de anclaje de las plantas, estos últimos han sido los más empleados en México (Chang *et al.*, 2019; Marín-Muñiz *et al.* 2023). Al estar las celdas rellenas, solo pueden tener vegetación emergente. Los humedales son una opción viable tanto ecológica como económicamente, ya que son sistemas que replican las funciones de los humedales naturales para la remoción de contaminantes en el agua y mejorar la calidad del recurso hídrico, mediante procesos físicos, químicos y biológicos y sin requerimientos de energía eléctrica (Mitsch y Gosslink, 2015).

Aunque hay varios casos en México que reportan su uso, a nivel real, resolviendo problemas de contaminación municipal o comunitaria, aún ha sido paulatino su uso (García-García *et al.*, 2016; Marín-Muñiz *et al.*, 2023). En algunos casos la falta de replicación de las tecnologías mencionadas, es debido a la falta de manuales en español, poca inversión gubernamental o desconocimiento de la alternativa (Zurita-Martínez *et al.* 2011). En los casos existentes, aunque los humedales construidos han demostrado su funcionalidad en la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Sandoval *et al.* 2018; Zamora *et al.* 2019; Sandoval *et al.* 2020) y fácil operación y mantenimiento, poco se ha descrito sobre los detalles a tomar en cuenta para la buena funcionalidad de la ecotecnología a largo plazo y su mejor aprovechamiento. Por ello, en este estudio se propuso como objetivo principal, describir las consideraciones a tomar en cuenta para el buen funcionamiento de los humedales de tratamiento, a partir de seis años de trabajo en un humedal construido de flujo subsuperficial comunitario. Tal información servirá de base para

aquellos sistemas que estén operando y se favorezca su funcionalidad.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio de humedales se efectuó en la localidad de San José Pastorías, la cual se encuentra ubicada dentro del municipio de Actopan en el estado de Veracruz (figura 1) según datos INEGI (2020), la población de la localidad de Pastorías es de 552 habitantes. En dicha localidad existe un humedal de tratamiento comunitario, construido desde 2017. A pesar de su relevancia, el humedal siempre debe tener actividades de monitoreo y operatividad que más adelante se detallarán.

Figura 1. Configuración de HC-VPS 52wzs

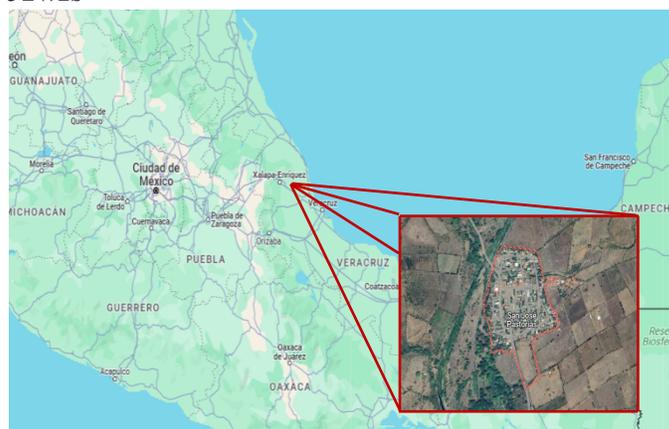


Figura 1. Localización en el mapa de San José Pastorías, en el municipio de Actopan, Veracruz (Fuente: Google).

Operatividad en el área de humedales

El sistema ha sido monitoreado en cuanto a su funcionalidad de manera permanente. El 15 de noviembre de 2023, se realizaron pruebas diagnósticas que permitiera analizar los problemas que se han generado después de seis años de operatividad, así como la generación de propuestas para solventar los problemas detectados. El análisis se hizo mediante guía de campo. El diagnóstico realizado fue hecho por integrantes de diferentes disciplinas para obtener diferentes ópticas y propuestas. Se realizó observación directa, recopilando información de los hallazgos que se encontraron de las presuntas perturbaciones que pueden interferir con la eficiencia y el flujo del humedal. Así mismo se realizó sondeo entre los operadores actuales para analizar formas de trabajo en el sistema de tratamiento.

Se realizaron pruebas de bombeo del agua residual proveniente del pozo de pretratamiento donde llegan las aguas residuales hasta los canales de sedimentación para darle flujo a todo el sistema del humedal, con el fin de detectar la forma de operación. Durante el recorrido se inspeccionó el

sistema de tuberías y conductos por donde viaja el agua residual antes de ingresar a las celdas de tratamiento, así como las tuberías de salida de las celdas, identificando posibles problemas que pudieran estarse presentando.

De igual forma, se apoyó con la limpieza del humedal y con la recolección de muestras de agua residual provenientes de las celdas de tratamiento.

Con la información revisada se generó un cuadro de causas y efectos si el sistema no funcionara al 100% en cuanto a su tratamiento.

RESULTADOS

Aunque los humedales de tratamiento han tenido auge de uso en las últimas décadas, en países latinoamericanos como México, su uso resolviendo problemas reales de contaminación aún es escaso y de los existentes es importante verificar su operatividad y manejo para el mejor aprovechamiento. En el caso en el diagnóstico en Pastorías, Actopan, se detectaron diferentes aspectos que se deben tomar en cuentas para la mejor operatividad.

La importancia del correcto funcionamiento del humedal consiste, por un lado, en el ámbito ambiental, ya que el humedal artificial permite la remoción de contaminantes de las aguas residuales de la comunidad con lo cual ayuda a reducir la carga de contaminantes, si el humedal empieza a presentar problemas, la eficiencia en la remoción de contaminantes será baja. Por otra parte, la económica, ya que al detectar los problemas en su funcionamiento se ayuda a prevenir problemas más graves que puedan hacer que el humedal deje de funcionar por completo. Además, existe un notorio desinterés por parte de la comunidad en su mantenimiento, lo que también compromete su eficacia y los beneficios del humedal.

Con estos datos recopilados, llevamos a cabo una inferencia de los datos recopilados en el recorrido. La información obtenida es reportada como una deducción de causas y efectos, llegando a la conclusión que el problema principal es la falta de mantenimiento en el humedal artificial de San José Pastorías en Actopan, Veracruz, México, resaltando los hallazgos encontrados y proponiendo algunas estrategias a corto y largo plazo.

En la figura 2 se presenta el árbol de problemas en donde se presentan las causas y efectos que lograron identificarse, sino se diera solución pronta a dichas causas:

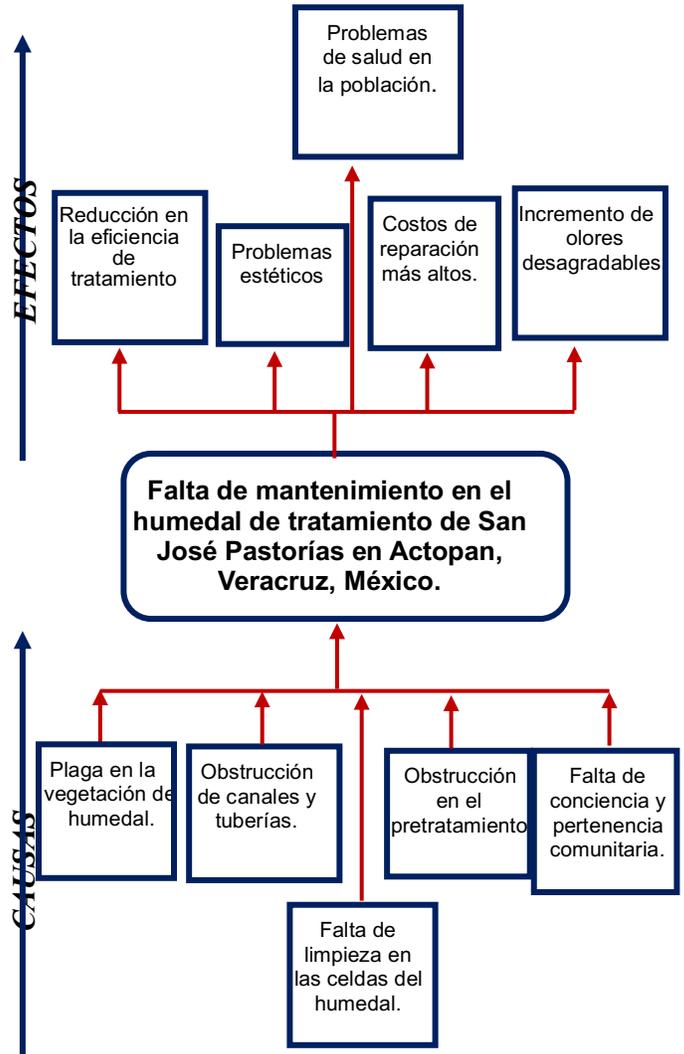


Figura 2. Árbol de problemas sobre la falta de mantenimiento en el humedal artificial de Pastorías en Actopan, Veracruz, México.

Causas:

- **Obstrucción en el pretratamiento:** La obstrucción que se detectó en el

pretratamiento hace que la circulación del agua residual no sea constante en el humedal y que se necesite ayudar el flujo con una bomba de agua. Aunque cabe mencionar que parte de la acumulación de sedimentos es debida a sólidos vertidos directamente en el drenaje. De acuerdo a los operadores, se han detectado hasta ropas en el sistema, lo cual taponea el flujo. Ante ello es importante realizar asambleas de sensibilización entre los comunitarios y evitar el vertido de basura en el sistema de alcantarillado.

- **Falta de limpieza en las celdas del humedal:** Sin mantenimiento, la vegetación en el humedal puede obstruir las celdas y además la vegetación se descompone, afectando en la calidad de tratamiento (*figura 3*). Por lo que se sugiere la vigilancia constante de la vegetación en senescencia.
- **Obstrucción de canales y tuberías:** Debido a que el flujo en el humedal no es constante, las tuberías se tapan lo que afecta la circulación del agua y reduce la eficiencia del humedal (*figura 4*). Este tema puede ser

resarcido con la vigilancia de vertido de sólidos en el sistema y el purgar la tubería de alimentación de las celdas al menos cada tres días como sugerencia.

- **Plaga en la vegetación:** Durante el recorrido se constató la presencia de plaga en la vegetación, la cual puede intervenir en el desarrollo de su crecimiento (*figura 5*). Aunque se recalca que estas plagas también resultan de acuerdo a las temporadas climáticas, pero cuando se detecten se sugiere utilizar plaguicidas a base de ingredientes naturales como especias, para no afectar químicamente ni los microorganismos, ni las especies de las plantas del ecosistema.
- **Falta de conciencia y pertenencia comunitario:** La falta de conciencia ambiental y el compromiso de la comunidad local pueden resultar en la falta de apoyo y supervisión, lo que contribuye a la negligencia en el mantenimiento del humedal. Por lo tanto, se sugiere la implicación de autoridades y grupos

comunitarios para no solo adoptar la ecotecnología, sino la apropiación de la misma.

Efectos:

- **Reducción en la eficiencia de tratamiento:**

Las continuas obstrucciones pueden reducir la capacidad del humedal para retener contaminantes y tratar el agua de manera efectiva.

- **Costos de reparación más altos:**

La falta de mantenimiento puede llevar a problemas más graves que requieran costosas reparaciones o incluso la reconstrucción del humedal.

- **Incremento de olores desagradables:**

Al no poder tratar el agua, se generan olores desagradables, afectando negativamente a la calidad del aire en los alrededores.

- **Problemas estéticos:**

El humedal sin mantenimiento puede volverse visualmente desagradable, afectando su valor estético y su atractivo para la comunidad local.

- **Problemas de salud en la población:** La falta de mantenimiento puede resultar en la liberación de contaminantes no tratados en el entorno, representando un riesgo para la salud humana, ya que previo a la construcción del sistema, las aguas eran descargadas directamente a cielo abierto hasta llegar al río Topiltepec, afluente de la cuenca Actopan.



Figura 3. Vegetación muerta en una celda del humedal.

Figura 4. Obstrucción de algunas de las tuberías del humedal

Figura 5. Presencia de plaga en la vegetación del humedal.

Una vez detectadas las causas y los efectos derivadas del diagnóstico, se pudo proponer las siguientes estrategias a corto y a largo plazo:

A corto plazo:

- **Inspección y Evaluación Detallada del pretratamiento:** Realizar una evaluación exhaustiva del pretratamiento del humedal, la inspección ayudará a tomar la decisión

sobre si la infraestructura del pretratamiento requiere adecuaciones o mallas nuevas o cribas que permitan la separación de basura o sólidos de amplio tamaño, para que estos no entren a las tuberías distribuidoras de agua.

- **Implementación de filtros y trampa de grasas:** La estrategia se enfoca en optimizar los procedimientos de mantenimiento. Se propone la instalación de filtros removibles en la cisterna de residuos y contenedores, así como la incorporación de mallas de menor poro. Estas medidas buscan facilitar la limpieza, reducir la carga de sólidos y mejorar la calidad general del agua tratada. Las grasas separadas podrían mezclarse con suelo y residuos secos de plantas para generar compostas para cultivo.
- **Remoción de Sedimentos y Material Obstruido:** Retirar los sedimentos acumulados y cualquier material obstruido en canales, tuberías y otras estructuras para no reducir la capacidad de tratamiento del humedal. Se sugiere una intervención al

menos semanal de retiro de sólidos. Tales sólidos podrían continuar siendo tratados a través de vegetación de humedales, haciendo celdas de tratamientos de lodos, o bien si se desecharán, excavar un hoyo y agrgarlos en conjunto con cal, para matar microorganismos.

- **Monitoreo y mantenimiento continuo:** Establecer un sistema de monitoreo y mantenimiento regular para detectar y evitar problemas que se presenten en un futuro. Vigilar siempre los flujos de agua, para lograr mantener los tiempos de retención hidráulica establecidos en el diseño de la ecotecnología.
- **Restaurar o fumigar de la vegetación del humedal:** Con el fin de favorecer el desarrollo de la vegetación y mejorar el atractivo visual del humedal. Las plantas podrían presentar plagas según la temporada, pero esta podría mitigarse utilizando alternativas naturales, no con agentes químicos que alteren la naturaleza de las plantas.

A largo plazo:

- **Educación y Participación Comunitaria:**

Implementar programas educativos y de participación comunitaria para aumentar la conciencia sobre la importancia del humedal y fomentar el compromiso de la comunidad en el mantenimiento continuo.

- **Gestión de Olores y Calidad del Aire:**

Adoptar medidas para controlar los olores desagradables, como la implementación de tecnologías de tratamiento de olores o la optimización de las condiciones de descomposición de la materia orgánica. Aunque si el sistema es subsuperficial y se mantiene vigilancia de lo descrito, los olores no aparecerán, al menos no en los humedales, sino únicamente en los tanques de lechada de las aguas negras o en los sedimentadores.

Otros estudios sobre implementación de humedales en Tailandia, también hacen hincapié en que, aunque los humedales de tratamiento funcionan de manera natural, y no se requiere especialistas o ingenieros en su manejo, es importante la

capacitación de operadores y vigilancia constante de las ecotecnologías en cuanto a lo operativo, y así evitar obstrucciones de la hidrología o crecimiento excesivo de la vegetación que impida el flujo del agua dentro de las celdas (Brix, 2011). Es importante el aprovechamiento de la vegetación dentro de los humedales, para que sumado al tratamiento de las aguas residuales por fitorremediación, al producir variedad y cantidad de especies de plantas, se logren tener venta de flores o elaboración de artesanías o arreglos florales a partir de las plantas ornamentales que en el humedal se siembren, algunos ejemplos de plantas ornamentales con aprovechamiento económico incluyen a los géneros *Thypha*, *Cyperus*, *Zantedeschia*, *Anturium*, *Zingiver* y *Heliconia*, por lo cual su uso en humedales construidos es recomendado, comprobando su funcionalidad como especies fitorremediadoras (Hernández, 2016; Rivas *et al.*, 2016; Zitácuaro *et al.*, 2021; Manzano *et al.*, 2022).

CONCLUSIONES

La operatividad de humedales de tratamiento a pesar de que no requiere energía eléctrica si es diseñado a que por condiciones de topografía el

agua llegue hasta el sistema por gravedad, y que funcionen con la energía del sol y con procesos microbianos y de fitorremediación, si requieren técnicos o personal que mantenga de manera apropiada las condiciones de flujo y de vegetación de las ecotecnologías, en este estudio se demuestra como los HC requieren de una constante revisión de sus condiciones operativas, entre ellas, las condiciones hidráulicas, revisando se mantengan los tiempos de retención hidráulica adecuados, los flujos y revisando el crecimiento de la vegetación sembrada en las celdas de humedales. Considerar tales aspectos favorecerá tener una tecnología en funcionamiento a largo plazo y si se considera a la población ser parte de la operatividad, es importante tal asesoramiento, lo cual a la par ayudará a la adopción y apropiación del ecosistema de tratamiento de aguas residuales. Se sugiere que todo proyecto de implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, incluya entre su planeación, archivos de seguimiento de operatividad para los cuidadores de la ecotecnología, donde se registre diario o semanal los flujos, condiciones ambientales, separación de lodos, etc., todo esto

permitirá un mejor control del funcionamiento y a su vez una óptima función.

AGRADECIMIENTOS

A El Colegio de Veracruz, al financiamiento otorgado por CONAHCYT con las becas de estudios de posgrado de Maestría en Desarrollo Regional Sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

- Brix, H., Koottatep, T., Fryd, O., Laugesen, C. 2011. The flower and the butterfly constructed wetland . system at Koh Phi Phi-System design and lessons learned during implementation and operation. *Ecological Engineering*. 37, 729–735. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.035>.
- Brix, H., & Arias, C. A. 2005. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering*, 25(5), 491-500.
- Chang, M., Wang, Y., Pan, Y., Zhang, K., Lyu, L., Wang, M., & Zhu, T. 2019. Nitrogen removal from wastewater via simultaneous

- nitrification and denitrification using a biological folded non-aerated filter. *Bioresource Technology*, 289, 121696.
- Díaz-Cuenca, E., Alvarado-Granados, A. & Camacho-Calzada, K. 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. 14, 1, 78-97.
- 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.
- Hernández, M.E. 2016. Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. *Rinderesu*. 1, 1–12.
- INEGI. 2020. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Available online: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/salade/prensa/boletines/2018/EstSociodemo/DEFUNCIONES2017.pdf> (accessed on 1 May 2023).
- Magwaza, S.T., Magwaza, L.S., Odindo, A.O., Mditshwa, A. 2020. Hydro-ponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. *Science of the Total Environment*. 698:134154.
- Manzano, E., Hernández-Vásquez, L.A., Alvarado-Lassman, A., Sánchez-Valera, O., Hernández-Salinas, G. 2022. Zingiber spectabile en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales y su uso en la agricultura. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*. 10, 1, 84-92.
- Marín-Muñiz, J.L. 2017. Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reuso del agua. *Agroproductividad*. 10, 5.

- Marín-Muñiz, J.L., Sandoval Herazo, L.C., López-Méndez, M.C., Sandoval-Herazo, M., Meléndez-Armenta, R.Á., González-Moreno, H.R. & Zamora, S. 2023. Treatment Wetlands in Mexico for Control of Wastewater Contaminants: A review of experiences during the last twenty-two years. *Processes*. 11, 359. <https://doi.org/10.3390/pr11020359>
- Mitsch, W.J. & Gosselink, J. 2015. *Wetlands*; John Wiley and Sons Inc.: New York, NY, USA, 2015.
- Sandoval-Herazo, L., Alvarado-Lassman, A., Marín-Muñiz, J.L., Méndez-Contreras, J., Zamora-Castro, S. 2018. Effects of the use of ornamental plants and different substrates in the removal of wastewater pollutants through microcosms of constructed wetlands. *Sustainability*. 10, 1594. <https://doi.org/10.3390/su10051594>.
- Rivas, R. 2016. Elaboración del Diagnóstico del Humedal de Acamixtla, Recomendaciones y Propuesta de Acciones para su Rehabilitación, en la Localidad de Acamixtla Municipio de Taxco de Alarcón, en el Estado de Guerrero. Informe Final. IMTA. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1743>
- Sandoval-Herazo, L., Alvarado-Lassman, A., Marín-Muñiz, J.L., Méndez-Contreras, J., Zamora-Castro, S. 2018. Effects of the use of ornamental plants and different substrates in the removal of wastewater pollutants through microcosms of constructed wetlands. *Sustainability*. 10, 1594. <https://doi.org/10.3390/su10051594>.
- Sandoval, L., Zurita, F., Del Ángel-Coronel, O., 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 & Technology*. 81.5, 961–970. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.185>.

- Vymazal, J. The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment. *Land* 2022, 11, 174
- Zamora, S., Marín-Muñiz, J.L., Nakase-Rodríguez, C., Fernández-Lambert, G., Sandoval, L. 2019. Wastewater treatment by constructed wetland eco-technology: Influence of mineral and plastic materials as filter media and tropical ornamental plants. *Water*. 11, 2344.
<https://doi.org/10.3390/w11112344>
- Zitácuaro-Contreras, I., Vidal-Álvarez, M., Hernández y Orduña, M., Zamora-Castro, S., Betanzo-Torres, E., Marín-Muñiz, J. & Sandoval-Herazo, L. 2021. Environmental, economic, and social potentialities of ornamental vegetation cultivated in constructed wetlands of Mexico. *Sustainability*. 6267.
<https://doi.org/10.3390/su13116267>
- Zurita-Martínez, F., Castellanos-Hernández, O.A. & Rodríguez-Sahagún, A. 2011. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1, 139–150.