



Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México

Ornamental wetlands with community participation for treatment of municipal wastewater in Mexico

María E. Hernández Alarcón

Red de Manejo Biotecnológico de Recursos, Instituto de Ecología A.C. Carretera antigua a Coatepec 351, el Haya, Xalapa, Veracruz C.P. 91070. México. Correo: elizabeth.hernandez@inecol.mx Tel 2288 8421800 ext. 6210

Recibido 25 de enero 2016; recibido en forma revisada 30 de junio 2016; aceptado 06 de julio 2016

RESUMEN

Los humedales construidos son una opción adecuada para mitigar la contaminación por aguas domésticas, ya que son sistemas económicos y en ellos se pueden producir flores. Se realizó una revisión bibliográfica sobre la producción de flores en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Se encontró que una estrategia utiliza plantas acuáticas nativas de humedales, llamadas hidrófitas, que producen flores grandes y llamativas. La segunda estrategia utiliza plantas terrestres ornamentales de interés comercial, que toleran la inundación. La primera estrategia busca la depuración de las aguas residuales e incrementar la estética del humedal con flores, pero no la explotación de ellas, debido a que poco se sabe de la vida de anaquel de las flores producidas por las hidrófitas. Por el contrario, la introducción de plantas ornamentales terrestres de interés comercial en humedales construidos busca la explotación de las flores producidas con una vida de anaquel conocida y los resultados de los estudios han demostrado que la eficiencia de remoción de contaminantes en este tipo de humedales son similares a las obtenidas con plantas de humedales. Se documenta un caso de éxito de aplicación de la segunda estrategia con participación comunitaria de mujeres para el mantenimiento de un humedal construido con producción de flores en Pinoltepec, Veracruz. El grupo de cinco miembros femeninos ha dado mantenimiento al humedal que trata las aguas residuales de la comunidad y que ha operado continuamente desde 2013 con producción de alcatraces, anturios y azucenas. Se concluye que la estrategia de utilizar plantas terrestres ornamentales de interés comercial en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales es una opción factible en México, ya que se asegura el mantenimiento del sistema a través de la participación comunitaria que obtiene beneficios al comercializar las flores producidas.

Palabras clave: Saneamiento, flores, hidrófitas, comunidad, contaminación

ABSTRACT

Constructed wetlands are adequate alternative to mitigate water pollution by domestic wastewater. They are cheap and they can produce flowers. A literature review about flower production in constructed wetlands was undertaken. It was found that one strategy uses native wetlands plants, called hydrophytes that produce nice flowers. The second strategy uses upland ornamental plants that are able to tolerate flooding conditions. The first strategy pursue wastewater treatment and increasing wetland aesthetics with flowers but does not pursue the commercialization of flowers produced by hydrophytes, probably because it is not know their shelf life. In contrast, the introduction of upland ornamental plants in constructed wetlands is focus on the commercialization of flowers, the aesthetic of constructed wetlands and according with the studies, the pollutant removal efficiency in these types of constructed wetlands is similar to constructed wetlands with hydrophytes. Is documented a successful case of the application of the second strategy with community participation for maintenance of constructed wetlands with flower production to treat domestic wastewater in Pinoltepec, Veracruz. Since 2013, a female group of five members from the community have operated and given maintenance to the treatment wetlands that has produced flowers of calla, lily and anthurium. It is concluded that the model of constructed wetland with participation of the community could be applied to medium to small communities to mitigate water pollution, because this model ensure the maintenance of the system by the community that obtain a benefit by the commercialization of ornamental plants. Projects focused to enhance the organization, training and empowering the community groups are necessary.

Key words: Sanitation, flowers, hydrophytes, community, pollution

INTRODUCCIÓN

En México sólo entre el 30-40 % de las aguas residuales municipales recibe algún tratamiento (Noyola, et al., 2012; Zurita et al., 2012). Lo anterior implica que entre 60 y 70% de las aguas residuales domésticas son vertidas sin ningún tratamiento a distintos ríos, lagos y acuíferos, causando grave contaminación de dichos cuerpos de agua.

Los humedales construidos son sistemas inspirados en las funciones de los humedales naturales. Consisten de canales con sustrato y plantas por donde el agua fluye, y a través de procesos biológicos y físicos, los contaminantes son removidos del agua (Hernández, 2013). Comparados con los sistemas convencionales de tratamiento, los humedales construidos tienen varias ventajas, ya que son de menor costo de construcción y mantenimiento. Sin embargo, la desventaja, es que necesitan de un área de terreno mayor. Este tipo de sistemas han sido ampliamente utilizados en países desarrollados para el tratamiento de diversas

fuentes puntuales de contaminación (Vymazal, 2007). Sin embargo, en los países intertropicales en vías de desarrollo, los humedales construidos han sido menos utilizados, a pesar del potencial que tienen para resolver problemas de contaminación (Zurita, 2012, García et al., 2013). Por ejemplo en México sólo existen 137 humedales construidos que tratan aguas residuales domésticas (García-García et al., 2016)

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión del estado del arte sobre dos estrategias de producción de flores y remoción de contaminantes en humedales construidos, 1) a través del uso de hidrófitas y 2) a través del uso de plantas terrestres ornamentales de interés comercial. Además se documenta un caso particular exitoso de participación comunitaria de mujeres en la aplicación humedales construidos con producción de flores para el saneamiento de aguas residuales en Pinoltepec, Ver. Lo anterior con el fin de integrar y aterrizar los aspectos técnicos de la tecnología con su aplicación en el contexto socioeconómico de México.

1. Características de humedales construidos

De acuerdo con el tipo de flujo de agua, los humedales construidos se agrupan de acuerdo a la siguiente clasificación:

a) Humedales de flujo superficial: Son más parecidos a los humedales naturales, el agua fluye por arriba del sustrato que generalmente es suelo y el agua está en contacto con la atmósfera (Figura 1A). En él pueden sembrarse plantas emergentes, plantas flotantes o plantas sumergidas

b) Humedales de flujo subsuperficial: En este tipo de humedales el agua fluye por debajo del sustrato, sin que esté en contacto con la atmósfera, por lo que se eliminan olores y se disminuye la presencia de

insectos. El sustrato en este tipo de humedales es un medio poroso, generalmente grava (volcánica, asfáltica o de río), arena o zeolita entre otros. En este tipo de humedales, sólo se pueden sembrar plantas acuáticas emergentes o plantas terrestres. De acuerdo a la dirección del agua, los humedales subsuperficiales, pueden ser:

-Humedales de flujo horizontal. El agua fluye de un extremo del humedal al otro, paralelo al sustrato (Figura 1B)

-Humedales de flujo vertical: El agua fluye de arriba hacia abajo, perpendicular al sustrato (Figura 1C).

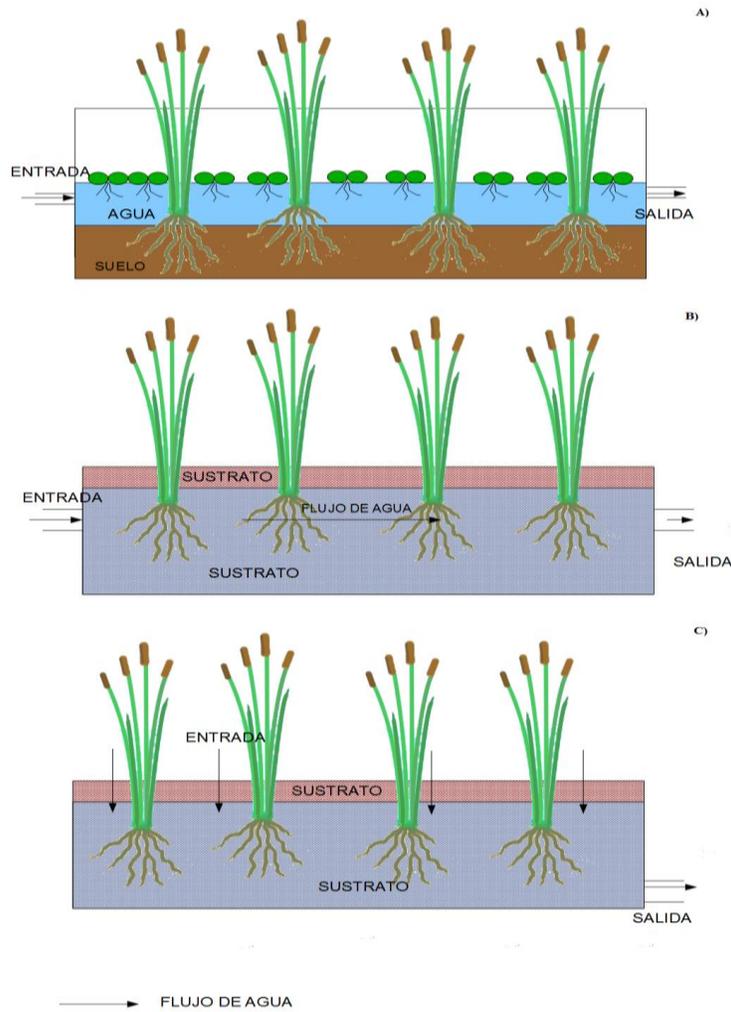


Figura 1.- Esquema de los diferentes tipos de humedales construidos, A) Humedal de flujo superficial, B) Humedal de flujo subsuperficial horizontal y C) Humedal de flujo subsuperficial vertical.

2. Conocimiento actual y necesidades de investigación sobre la producción de plantas ornamentales en humedales construidos.

La vegetación es un elemento importante en los humedales construidos, históricamente en ellos se han utilizado plantas nativas de humedales también llamadas macrófitas. Las macrófitas son plantas capaces de vivir y crecer en condiciones de inundación, para lo cual han desarrollado adaptaciones, como el transporte de oxígeno de las partes aéreas a la raíz a través del sistema aerenquimal, el desarrollo de raíces aéreas o adventicias y la presencia de lenticelas, que son estructuras que aseguran la entrada de oxígeno, el intercambio gaseoso entre los tejidos internos y el exterior (Mitsch y Gosselink, 2015). En las últimas décadas con la aplicación de la tecnología de humedales construidos en países tropicales y subtropicales, la idea de producir flores en humedales ha empezado a ser popular en China, Tailandia, Portugal, Italia y México (Zhang, et al., 2007, Konnerup et al., 2009, Calheiros et al., 2015, Zurita et al., 2009). De acuerdo a la revisión de la literatura se puede distinguir que existen dos estrategias del uso de plantas ornamentales en humedales, una es la utilización de hidrófitas, esto es plantas acuáticas que producen flores llamativas y la otra es la utilización de plantas terrestres ornamentales de interés comercial, que se adaptan a vivir bajo condiciones de inundación pero que no necesariamente son plantas acuáticas, nativas de humedales. A continuación se describen los detalles de cada estrategia

2.1 Hidrófitas ornamentales en humedales construidos

La utilización de macrófitas ornamentales tiene como objetivo la depuración del agua, e incrementar la estética de los humedales construidos, a través de la floración de las hidrófitas (Chen et al., 2009). Es importante mencionar que debido a que poco se sabe sobre la vida de anaquel, esto es cuánto tiempo duran las flores de las hidrófitas una vez que se han cortado, la venta de flores de plantas acuáticas no se ha explorado.

Las hidrófitas están adaptadas a vivir en humedales, por lo que no están bajo estrés respecto a la inundación, el estrés que pueden experimentar las hidrófitas es respecto a la concentración de nutrientes en el agua. Las investigaciones realizadas al respecto se han encargado de investigar la remoción de contaminantes con diferentes tipos de hidrófitas que producen flores o follaje grande y llamativo, reportando buenas eficiencias de remoción (Merino-Solis et al., 2015). También se ha investigado la contribución de las hidrófitas ornamentales a la remoción de nitrógeno y fósforo a través de la acumulación en sus tejidos, indicando que en general las hidrófitas acumulan en sus tejidos entre 20 y 35 % del nitrógeno removido en los humedales (Palomsky et al., 2007). En el cuadro 1, se presentan algunas de las especies de hidrófitas que se han utilizado en humedales construidos para crear humedales ornamentales con flores y tratar diversos tipos de agua residual.

Cuadro 1.- Especies de hidrófitas acuáticas ornamentales utilizadas en humedales construidos.

Especies de macrófitas ornamentales	Tipo de humedal construido	Tipo de efluente	País	Referencia
<i>Iris pseudacorus</i> L. <i>Acorus gramineus</i>	Macetas con sustrato	Agua residual industrial y rural	China	Chen et al., 2009
<i>Canna generalis</i> , <i>Colocasia esculenta</i> <i>Eleocharis dulcis</i> , <i>Iris Peltandravirginica</i> y <i>Pontederia cordata</i>	Macetas con grava	Agua sintética rica en minerales (nitrógeno y fósforo)	Estados Unidos	Palomsky et al., 2007
<i>Canna hybrids</i>	Humedal de flujo subsuperficial de 65 m ²	Aguas residuales domesticas pre-tratadas en un filtro anaerobio	México	Merino-Solis et al., 2015
<i>Canna generalis</i>	Humedal de flujo subsuperficial de 2 m ²	Aguas residuales sedimentadas	Tailandia	Konnerup et al., 2009.

2.2. Plantas terrestres ornamentales de interés comercial en humedales construidos

La utilización de plantas terrestres ornamentales de interés comercial con la habilidad de tolerar inundación en humedales construidos es una estrategia que tiene como objetivo la depuración de agua y al mismo tiempo producir flores que se puedan vender. Este enfoque ha sido desarrollado en México, con el objetivo de hacer más atractiva la tecnología de humedales construidos, sobre todo para pequeñas y medianas comunidades (Belmont 2004; Zurita, 2010; Montealegre, 2010; Galindo, 2012; Parra, 2013). La utilización en humedales construidos de plantas ornamentales, tolerantes a la inundación pero no estrictamente hidrófitas, fue documentada por el canadiense Belmont (2003), quien estudió la factibilidad de cultivar alcatraces (*Zantedeschia aethiopica*) en agua residual sintética en humedales construidos a nivel laboratorio, encontrando buen desarrollo de las plantas y buenas remociones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y alquil-fosfatos. Posteriormente este mismo autor y sus colaboradores reportaron la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales de una pequeña comunidad en el Estado de México utilizando terrazas de sedimentación, una laguna de estabilización y un humedal de flujo sub-superficial plantado con alcatraces (Belmont et al., 2004). Ellos encontraron que el humedal construido con alcatraces fue tan eficiente como aquellos plantados con tule (*Typha* sp.), una hidrófita acuática no ornamental ampliamente utilizada en humedales construidos. Posteriormente, en el estado de Jalisco, Zurita et al., 2006 evaluaron el crecimiento y la eficiencia de remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas en microcosmos de humedales construidos a nivel laboratorio, utilizando plantas ornamentales de interés comercial tales como, alcatraces, anturios, ave del paraíso y agapanto (*Zantedeschia aethiopica*, *Anturium andreaeanum*, *Strelitzia reginae*, y *Agapanthus africanus*, respectivamente). Ellos evaluaron dos tipos de humedales, los de flujo subsuperficial y de flujo vertical, encontraron las remociones más altas en humedales de flujo vertical comparados con

humedales de flujo horizontal. También reportaron, que los alcatraces crecieron mejor en los humedales de flujo horizontal, mientras que los anturios, las aves del paraíso y el cintillo lo hicieron en los humedales de flujo vertical, aunque describieron que los anturios se secaron en invierno.

Diversos géneros de las heliconias (Familia Heliconiaceae) son otro tipo de plantas ornamentales que han sido investigadas para la depuración de aguas residuales en humedales construidos en países tropicales como México, Colombia, Tailandia e India (Konnerup et al, 2009; Mendez-Mendoza et al., 2015; Saumya, et al, 2105). Los estudios anteriores concluyen que el utilizar estas plantas, es una práctica eficiente para la remoción de contaminantes. Sin embargo, son pocos los estudios que reportan parámetros cuantitativos de crecimiento de las plantas, como el incremento de la altura y el número de hojas y tallos (Montealegre, 2010), la mayoría de los trabajos sólo lo describen cualitativamente, mencionando que “las plantas crecieron y se mantuvieron saludables”. También es importante mencionar que en ninguno de los trabajos se reporta la producción de flores en las heliconias crecidas en los humedales construidos. Lo anterior debido al corto período de tiempo en el que se realiza la evaluación de los humedales construidos, que dura máximo un año y las especies de heliconias en algunos casos requieren de al menos tres años para floración (Jerez, 2007).

El gengibre blanco (*Hedychium coronarium*) es otra planta que ha empezado a utilizarse en humedales construidos en Brasil y México, reportándose, buen crecimiento de las mismas (Sarmiento et al., 2012; Hernández y Hernández 2013).

En general podemos decir que los estudios de la utilización de plantas terrestres ornamentales en humedales construidos se han centrado mayoritariamente en evaluar la remoción de contaminantes, el crecimiento y salud de las plantas. Pocos son los estudios que estudian la contribución de las plantas ornamentales a la remoción de los contaminantes, es decir, de los

contaminantes removidos, que tanto se acumula en los tejidos de la planta. Por ejemplo, Konnerup et al., (2009), reportaron que de acuerdo a la acumulación de nitrógeno en sus tejidos y a su velocidad de crecimiento, *Heliconia* sp., contribuyó en 12% a la remoción de este compuesto, en comparación con el 35% que contribuyó *Canna i*.

Las plantas de humedal juegan un papel importante en la química del agua, al remover los nutrientes e incorporarlos en sus tejidos, sirven como soporte para microorganismos, airean el sustrato a través del sistema aerenquimal, permitiendo tener gradientes de óxido-reducción desde anaerobiosis hasta aerobiosis (Brix, 1994). Los gradientes de óxido-reducción en los humedales son sumamente importantes para los procesos biogeoquímicos que ocurren en ellos y que mayoritariamente son responsables de la eliminación de contaminantes en los humedales construidos. Entre estos procesos están la metanogénesis, la respiración aerobia y la desnitrificación, a través de los cuales se remueve carbono y nitrógeno.

Las plantas terrestres de interés comercial tolerantes a la inundación, no precisamente desarrollan las mismas adaptaciones de las hidrófitas para vivir en condiciones de inundación, por lo que es de esperarse que tengan diferente efecto en los gradientes de óxido-reducción en los sustratos de humedales construidos. Sin embargo a la fecha poco se sabe acerca los procesos biogeoquímicos en los humedales con plantas ornamentales en comparación con plantas de humedales. Montealgre (2010) investigó las emisiones de metano y óxido nitroso en mesocosmos de humedales construidos con *Heliconia* sp. variedad golden torch y con *Thalia geniculata* (una hidrófita ornamental) pero no encontró diferencias entre los humedales plantados con las distintas especies. Por otro lado, Parra (2013), evaluó la emisión de metano en un humedal construido a nivel piloto en Pinoltepec, Veracruz., plantado con dos hidrófitas, tule y papiros (*Typha domingensis* y *Cyperus papyrus*) a la entrada del agua residual y alcatraces hacia la salida del humedal. Ella encontró que las emisiones de metano fueron iguales y en algunas ocasiones

mayores en la zona de alcatraces, comparada con la zona de tule y papiro, aun cuando en la zona de entrada la concentración de carbono disuelto fue más alta. Dichos resultados sugieren diferencias en el metabolismo (producción y oxidación) de metano entre las zonas de humedal plantadas con hidrófitas (tule y papiro) y en la zona de ornamentales (alcatraces). Lo anterior pudiera deberse a la diferencia del sistema radicular de las especies estudiadas. El tule y papiro son hidrófitas con un sistema aerenquimal robusto (Brix, 1994) por lo que la oxigenación de las raíces al sustrato pudo haber estimulado la oxidación de metano y por lo tanto disminución de las emisiones. Por el contrario, los alcatraces son plantas terrestres con capacidad para vivir en zonas anegadas que también presentan aerénquima, sin embargo el tamaño de las plantas en los humedales fue menor que el de las hidrófitas, por lo tanto la oxigenación de sustrato pudo haber sido menor y por consecuencia la oxidación de metano. Sin embargo, debido a que el metano es un gas de efecto invernadero y que es deseable mitigar las emisiones de este gas en los humedales construidos, aún son necesarios más estudios detallados sobre metanogénesis (producción de metano) y metanotrofia (oxidación de metano) en humedales con plantas ornamentales, en comparación con las hidrófitas.

Es importante mencionar que existe un vacío del conocimiento sobre las adaptaciones que realizan las plantas ornamentales de interés comercial para sobrevivir bajo condiciones de inundación y concentraciones altas de nutrientes, ya que como se ha mencionado anteriormente, los estudios se han enfocado a evaluar la eficiencia del tratamiento y el crecimiento de las plantas. De acuerdo con un estudio que utilizó rayo laser inducido con fluorescencia, se encontró que las plantas de *Zantedeschia aethiopica* crecida en humedales con aguas residuales, presenta más signos de estrés que las plantas crecidas en macetas con tierra (Zurita et al, 2008).

3. Estrategia de participación comunitaria para el mantenimiento de humedales construidos

En base en el conocimiento generado en el Instituto de Ecología A.C. (Montealegre, 2010; Galindo, 2012) y en colaboración con el consejo de cuenca-Tuxpan-Jamapa-CONAGUA, se construyó un prototipo de humedal de flujo subsuperficial, con producción de plantas ornamentales de 60 m², que trata las aguas residuales sedimentadas (20 m³ por día) de la comunidad de Pinoltepec, Veracruz. Este humedal fue sembrado con especies de hidrófitas acuáticas, capaces de crecer bajo inundación y bajo

altas concentraciones de nutrientes como tule, papiros y sombrillas (*Typha domingensis*, *Cyperus papyrus*, y *C. alternifolius*, respectivamente), así como plantas ornamentales terrestres tolerantes a la inundación que producen flores, como alcatraces, azucenas, anturios y jengibre blanco (*Zantedeschia aethiopica*, *Lilium* sp, *Anthurium* sp. y *Hedychium coronarium*, respectivamente) (Figura 2).



Figura 2.- Diferentes vistas del humedal ornamental de flujo subsuperficial, operado por un grupo comunitario de mujeres en Pinoltepec, Municipio de Emiliano Zapata, Ver.

Dicho humedal ha operado continuamente desde 2013 y la calidad de agua ha sido analizada por métodos estándares (Hernández et al., 2013) por nuestro grupo de investigación, los resultados indican una mejora de la calidad de agua a la salida de las celdas de humedales (Cuadro 2). La operación y mantenimiento del humedal está a cargo de un grupo comunitario de mujeres quienes

venden las plantas producidas en el humedal (Hernández y Hernández 2013). La estrategia de que los humedales construidos sean operados y mantenidos por grupos comunitarios locales está enfocada a asegurar que este tipo de sistemas no se conviertan en plantas de tratamiento abandonadas como muchas que existen en el país (Noyola, et al., 2012).

Cuadro 2.- Promedio mensual (n=4) (Junio 2013 - Diciembre de 2015) de parámetros de calidad de agua a la entrada y salida de las celdas de humedales con producción de flores en Pinoltepec, Veracruz.

Parámetro de calidad de agua	Entrada	Salida	% de remoción
Nitrógeno Total mg/L	119 ± 20	72 ± 9	47 ± 12
Fosforo Total mg/L	12 ± 3	8 ± 2	33 ± 6
Demanda Química de Oxígeno mg/L	378 ± 31	124 ± 20	67 ± 14
Sólidos totales mg/L	720 ± 52	474 ± 35	34 ± 9

En Pinoltepec, Veracruz, a través de tres reuniones presenciales con la comunidad, en las que se les presentó el proyecto, se percibió a la comunidad interesada en el mantenimiento del sistema, siempre y cuando éste produzca algún producto con valor agregado, que puedan comercializar, aparte del tratamiento. En este caso particular, el grupo comunitario también se interesó por tener un vivero para la producción de violetas, en el cual reutilicen parte del agua tratada. El grupo comunitario está constituido por 5 mujeres cuya edad está en el rango de 20 a los 55 años, todas dedicadas a labores del hogar. El tiempo promedio que ellas invierten en el mantenimiento del humedal es de cuatro horas a la semana (dos visitas al sitio por semana) y una vez por mes invierte seis horas para realizar actividades de mantenimiento mayor (datos obtenidos vía entrevistas orales). Ellas operan con una organización autónoma y dicha organización ha sido guiada por investigadores del Colegio de Veracruz (Pedraza, 2015). El grupo comunitario ha comercializado papiros y alcatraces producidos en el humedal, principalmente la

demanda de plantas ha sido para sembrarse en otros humedales construidos para el tratamiento de aguas. Actualmente, el grupo ha iniciado la propagación de violetas y otras especies, reutilizando el agua tratada en el humedal con éxito. Aún se requiere tener seguimiento y apoyo al grupo comunitario para su organización y empoderamiento, también requieren capacitación y vías de comercialización de las plantas producidas. Sin embargo; podemos decir que éste modelo es prometedor, ya que es de doble ganancia, se tratan aguas residuales, no con una planta de tratamiento convencional sino con un sistema ecológico que también es un proyecto productivo. Comparado con un sistema convencional de tratamiento, en donde el costo de operación es muy alto (Cuadro 3), los humedales construidos con producción de flores son más atractivos. Bajo este esquema la tecnología de humedales construidos podría ser acogida en las medianas y pequeñas comunidades del país, mitigando la contaminación de ríos y acuíferos.

Cuadro 3- Costos de construcción y operación del humedal construido en Pinoltepec, Veracruz, en comparación con sistemas convencionales de lodos activados.

	Costo de construcción MXP	Costo de operación MXP /m³	Ganancias obtenidas por la venta de flores producidas en el sistema MXP	Fuente
Humedal construido en Pinoltepec Veracruz- Gasto 20 m ³ /día	\$140,000.00	Con participación comunitaria, no hay costo de operación	\$3500.00 (ingresos obtenidos de Noviembre de 2013 a Marzo de 2014)	Comunicación oral con el grupo comunitario y con los encargados de financiamiento del proyecto -Consejo de Cuenca Tuxpan-Jamapa- CONAGUA-INECOL
Planta de tratamiento de Xaltianguis Guerrero –gasto 1080 m ³ /día Tipo de tratamiento: Lodos activados	\$5,965,000.00	\$ 1.20 MXP Costo total de operación por mes \$38,880.00	No hay producción de flores	MIA- Planta de tratamiento de Xaltianguis Guerrero

CONCLUSIONES

Existen dos estrategias de producción de flores en humedales construidos, una es la utilización de hidrófitas que producen flores grandes y llamativas, con dicha estrategia se busca la depuración de las aguas a través de un sistema estético, pero no se persigue la explotación de las flores, ya que no se conoce la vida de anaquel de las mismas. La segunda estrategia, es la adaptación de plantas ornamentales terrestres de interés comercial en los humedales construidos, y los objetivos son la depuración de las aguas, la estética del humedal y la comercialización de las flores producidas. En Pinoltepec, Ver, se ha aplicado la segunda estrategia para el tratamiento de aguas residuales y la producción de flores en humedales construidos, dicha estrategia ha asegurado el mantenimiento del humedal a través de la participación de un grupo femenino de la comunidad que comercializan las flores producidas en el humedal. Aún se requieren más estudios que evalúen el efecto de utilizar plantas ornamentales de interés comercial en las funciones biogeoquímicas y en la interacción, sustrato-microorganismo- planta en humedales construidos. Así mismo, es necesario estudios sobre

aspectos económicos y de comercialización de las flores producidas

BIBLIOGRAFÍA

- Belmont, M.A. y M.D. Metcalfe. 2003. Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenolethoxylate surfactants—a laboratory-scale study. *Ecological Engineering*. 21: 233-247.
- Belmont, M.A., E., Cantellano, S. Thompson, M. Williamson, A. Sanchez, y C.D. Metcalfe. 2004. Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico. *Ecological Engineering*. 23: 299-311.
- Brix, H. 1994. Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*. 29 (84): 71-78.
- Calheiros, C.S.C, V.S. Bessa, B.R.Mesquita, H. Brix, A.O.S.S. Rangel y P.M.L. Castro. 2015. Constructed wetland with a polyculture of ornamental plants for wastewater treatment at a

rural tourism facility. *Ecological Engineering*. 79: 1–7.

Chen, Y., R.P., Bracy y A.D. Owings. 2009. Nitrogen and Phosphorous Removal by Ornamental and Wetland Plants in a Greenhouse Recirculation Research System. *Hortscience*. 44(6): 1704–1711.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), *Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU)*, CONAGUA, Mexico, 2009 (In Spanish). Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/MANUAL_APAZU_2009.pdf.

Galindo, M. 2012. *Emisión de gases invernadero, remoción de contaminantes y crecimiento de plantas ornamentales en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales*. Tesis de Licenciatura en Biología del Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla. México

García, J.A., D. Paredes y J. Cubillos. 2013. Effect of plants and the combination of wetland treatment type systems on pathogen removal in tropical climate conditions. *Ecological Engineering*. 58: 57-62

García-García, P. L., L. Ruelas-Monjardín y J. L. Marín-Muñiz. 2016. Constructed wetlands: a solution to water quality issues in Mexico? *Water Policy* 18(3): 654-669

Gutiérrez-Mosquera, H., M.R. Peña-Varón, Y A. Aponte-Reyes. 2010. Estimación del balance de Nitrógeno en un humedal construido subsuperficial plantado con *Heliconia psittacorum* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. 56: 87-98.

Hernandez A., M.E. 2013. Ecological engineering for controlling water pollution in Latin America En: Yañez- Arancibia, A., R. Dávalos S., J.W. Day y E.Reyes (eds.) *Ecological Dimensions for*

Sustainable Socio Economic Development. WIT Press UK 465-482 pp

Hernández A., M. E. y A. A. Hernández S. 2013. Manual de operación de las celdas de humedales construidos en Pinoltepec, Ver. Producto entregable del Proyecto “Asesoría para el diseño y operación de la Unidad demostrativa de humedales construidos para tratar las aguas municipales con producción de plantas ornamentales en Pinoltepec, Ver. CONAGUA. INECOL. JAMOAP. México, D.F. p: 14

Hernández A., M. E., I. Zaragoza G., J. Parra R. y A. A. Hernández S. 2013. Reporte técnico de la evaluación de la eficiencia para el mejoramiento de la calidad del agua y evaluación del crecimiento de las plantas. Manual de operación de las celdas de humedales construidos en Pinoltepec, Ver. Producto entregable del Proyecto “Asesoría para el diseño y operación de la Unidad demostrativa de humedales construidos para tratar las aguas municipales con producción de plantas ornamentales en Pinoltepec, Ver. CONAGUA. INECOL. JAMOAP. México, D.F. p: 23

Jerez, E. 2007. El Cultivo de las Heliconias. *Cultivos Tropicales*. 28: 29-35

Konnerup, D., T. Koottatep. y H. Brix. 2009. Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia. *Ecological Engineering*. 3 (5): 248-257.

Macci, C., E. Peruzzi., S. Doni., R. Iannelli y G. Masciandaro. 2015. Ornamental plants for micropollutant removal in wetland systems. *Environmental Science and Pollution Research International*. 22(4): 2406–2415

Madera-Parra, C. A., E.J. Peña-Salamanca, M.R. Peña, D.L. Rousseau y P. N.L. Lens. 2015. Phytoremediation of Landfill Leachate with *Colocasia esculenta*, *Gynerum sagittatum* and *Heliconia psittacorum* in Constructed Wetlands,

International Journal of Phytoremediation, 17 (1):16-24

Méndez-Mendoza, A.S., R. Bello-Mendoza, D. Herrera-López, G. Mejía-González y A. Calixto-Romoa. 2015. Performance of constructed wetlands with ornamental plants in the treatment of domestic wastewater under the tropical climate of South Mexico. *Water Practice & Technology*. 10 (1): 1-10

Merino-Solís, M.L., E. Villegas, J. de Anda, y A. López-López. 2015. The Effect of the Hydraulic Retention Time on the Performance of an Ecological Wastewater Treatment System: An Anaerobic Filter with a Constructed Wetland. *Water* 7: 1149-1163

Montealegre, B. 2010. *Evaluación de dos géneros de plantas del orden Zingiberales en humedales construidos para mejorar la calidad del agua del río Sordo y su efecto en la emisión de gases invernadero*. Tesis de la Universidad Veracruzana-Xalapa, Veracruz México.

Mitsch, W.J., y Gosselink J. 2015. *Wetlands*. Quinta edición. John Wiley and Sons Inc., New York. 456 pp.

Noyola, A., A. Padilla-Rivera, J.M. Morgan-Sagastume, L.E. Guereca, y F.Hernández-Padilla. 2012. Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America *Clean – Soil, Air, Water*. 40 (9): 926–932

Panazzolo, A., A. Carraro, y A. Teixeira de Matos. 2013. Effect of cultivated species and retention time on the performance of constructed wetlands. *Environmental Technology*. 34:8, 961-965, DOI: 10.1080/09593330.2012.724210

Parra, J. 2014. *Evaluación de la remoción de contaminantes y la emisión de gases de efecto invernadero en humedales construidos con plantas ornamentales en Pinoltepec, Veracruz*. Facultad de Biología. Instituto Tecnológico de Zacapoaxtla.

Pedraza L., A. M. 2015. *Organización comunitaria para el manejo común: El caso del humedal artificial de Pinoltepec, Municipio de Emiliano Zapata*. Veracruz. Tesis de Maestría. El Colegio de Veracruz.

Polomski, R.F., D.G. Bielenberg y T. Whitwell. 2007. Nutrient Recovery by Seven Aquatic Garden Plants in a Laboratory-scale Subsurface-constructed Wetland. *Hortscience* 42(7):1674–1680.

Sarmiento, A.P., A. Borges C. & A. de Matos T. 2013. Effect of cultivated species and retention time on the performance of constructed wetlands, *Environmental Technology*, 34(8): 961-965.

Saumya, S., S. Akansha, J. Rinaldo, M.A. Jayasri, K. Suthindhiran. 2015. Construction and evaluation of prototype subsurface flow wetland planted with *Heliconia angusta* for the treatment of synthetic greywater. *Journal of Cleaner Production* 91: 235-240

Vymazal, J. 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 380 (1-3): 48-45

Zhang, X.B., P. Liu, Y.S. Yang y W. Chen. 2006. Phytoremediation of urban wastewater by model wetlands with ornamental hydrophytes. *Journal of Environmental Sciences* 19: 902–909

Zurita, F., M.A. Belmont, J. De Anda, J. Cervantes-Martinez. 2008. Stress detection by laser-induced fluorescence in *Zantedeschia aethiopica* planted in subsurface-flow treatment wetlands. *Ecological Engineering* 33: 110–118

Zurita, F., M.A. Belmont, J. De Anda y J.R. White. 2011. Seeking a way to promote the use of constructed wetlands for domestic wastewater treatment in developing countries. *Water Science & Technology*. 63 (4): 654- 659.

Zurita, F., J. De Anda y M.A. Belmont. 2009. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal

subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 35: 861–869

Zurita, F., J. Anda y M.A. Belmont. 2006. Performance of Laboratory-Scale Wetlands Planted with Tropical Ornamental Plants to Treat Domestic Wastewater. *Water Quality*. 41 (4): 410–417p.

Zurita, F., E.D. Roy y J.R. White. 2012. Municipal wastewater treatment in Mexico: current status and opportunities for employing ecological treatment systems. *Environmental Technology*. 33 (10): 1151-1158.