

HUMEDALES CONSTRUIDOS EN MÉXICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, PRODUCCION DE PLANTAS ORNAMENTALES Y REUSO DEL AGUA

WETLANDS BUILT IN MÉXICO FOR THE TREATMENT OF RESIDUAL WATERS, PRODUCTION OF ORNAMENTAL PLANTS AND WATER REUSE

Marín-Muñiz J. L.

Academia en Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. Carrillo Puerto N. 26. Xalapa, Veracruz. CP 91000.

*Autor de correspondencia: soydrew@hotmail.com

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales es una necesidad global, y para su atención, los humedales artificiales o construidos (HC) son una opción ecológica y económicamente viable. En la actualidad, recientes estudios han enfocado el uso de humedales no sólo como sistemas de tratamiento, sino también para reutilización del agua tratada y resolver otras problemáticas para mitigar escasez del líquido. De igual manera, la producción de plantas ornamentales en los humedales, utilizando vegetación no común en humedales naturales es otro objetivo en el uso de los HC. Describir a los HC, sus principales usos, y revisar los casos de estudio existentes en México, es el principal objetivo de este trabajo. Aunque en el país existen HC que demuestran eficiencia de remoción de contaminantes, y por lo tanto la reutilización del agua, y se producen plantas de ornato, se requiere mayor utilización de la eco-tecnología para resolver los problemas de contaminación de agua, esto aunado con el diseño de manuales, talleres y capacitaciones para la construcción y operación eficiente de sistemas de HC.

Palabras clave: humedales, agua, vegetación ornamental, remoción.

ABSTRACT

The treatment of residual waters is a global need, and to address this, artificial or built wetlands (BW) are an ecological and economically viable option. Currently, recent studies have focused on the use of wetlands not only as treatment systems, but also for the reuse of treated water and to solve other problems in mitigating water scarcity. Likewise, the production of ornamental plants in the wetlands, using uncommon vegetation in natural wetlands is another objective of the use of BW. Describing the BW, their main uses, and reviewing the study cases present in México, is the main objective of this study. Although in the country there are BW that show efficiency in the removal of contaminants, and therefore the reuse of water, and where ornamental plants are produced, a higher use of eco-technology is required to solve the problems of water pollution; this, in addition to the design of manuals, workshops and training for the efficient construction and operation of BW systems.

Keywords: wetlands, water, ornamental vegetation, removal.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 5, mayo, 2017. pp: 90-95.

Recibido: julio, 2016. **Aceptado:** marzo, 2017.

INTRODUCCION

Contar con agua de calidad es una preocupación actual debido a su contaminación por el crecimiento poblacional, uso desmedido del recurso, y falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales que además de que no son tratadas para su reutilización, son vertidas generalmente a cielo abierto, infiltrándose en el subsuelo o descargadas a otros cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas o arroyos. De acuerdo a Conagua (2014), a nivel nacional existen 4904 plantas de tratamiento, de las cuales, 2287 están instaladas en áreas urbanas y 2617 tratan aguas residuales industriales. Este número de sistemas de tratamiento solo tratan el 50% de las aguas residuales urbanas y 29% de las industriales. Para el caso de comunidades rurales (menor a 2500 habitantes), la instalación de sistemas de tratamiento es menos común, en estas áreas las atenciones prioritarias son aún la distribución de agua y/o la implementación de alcantarillado. Por lo anterior, es habitual que en comunidades rurales las descargas de agua residual sean un foco de posibles infecciones, y más aún cuando son vertidas a los cuerpos de agua, donde éstos son utilizados como sitios recreativos o donde el cuerpo de agua es la fuente principal del recurso para las actividades diarias. Con respecto a Zurita *et al.* (2011), en México existen 47233 comunidades rurales que tienen entre 100 y 2499 habitantes, lo cual indica que este alto número de población no cuenta con tratamiento para sus aguas residuales. La falta de implementación de sistemas de tratamiento para mejorar la calidad del agua alude a los altos costos que se requieren para la instalación, manejo y operación de plantas tratadoras de agua, sumado a los elevados consumos de energía que estas requieren. Dado lo anterior, resulta pertinente utilizar alternativas ecológicas y económicas para la reutilización del agua. En este sentido, una opción viable es el uso de la tecnología de los humedales artificiales o construidos, dichas tecnologías son diseñados ingenieril y ecológicamente con el propósito de imitar la función de los humedales naturales de mejorar la calidad del agua. La ventaja de usar dicha tecnología radica en el bajo costo de construcción, fácil operación y mínimo mantenimiento para su buen funcionamiento.

¿Qué son los humedales construidos o artificiales?

Los humedales construidos consisten en celdas o canales impermeables con presencia de un sustrato que sirva como medio de anclaje de la vegetación y a la vez como filtro para el agua a tratar. De acuerdo con el tipo de flujo de agua en los sistemas de humedales construidos, éstos se clasifican en humedales de flujo superficial y de flujo subsuperficial (Mitsch y Gosselink, 2007) (Figura 1); en los primeros, el agua fluye sobre el sustrato (generalmente suelo). La columna de agua está en contacto directo con la atmósfera. Este sistema se asemeja más a los humedales naturales. La vegetación en este tipo de humedal puede ser de tipo emergente (enraizada al suelo y sale de la columna de agua), flotante (sus hojas y flores flotan sobre la columna de agua y las raíces toman los nutrientes del agua sin enraizarse en el sustrato) o sumergidas (son enraizadas al sustrato, pero tallo y hojas se permanecen dentro del agua sin llegar a salir sobre la columna de agua), mientras que en los humedales de flujo subsuperficial, el agua fluye por debajo del sustrato, lo cual favorece menos olores y crecimiento de insectos. El sustrato en este tipo de sistemas es un medio poroso, generalmente grava o piedra porosa, tezontle, arena, o zeolita. El tipo de vegetación en estos sistemas solo puede ser emergente. De acuerdo a la dirección del flujo de agua, los humedales de flujo subsuperficial, pueden ser de flujo horizontal donde el agua fluye de un

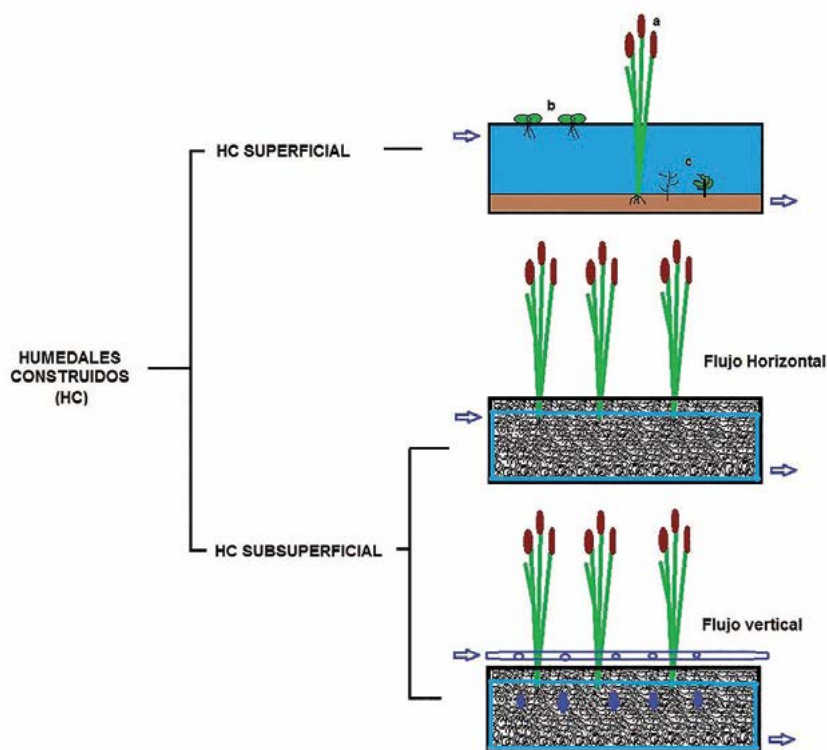


Figura 1. Tipos de humedales construidos. Humedal superficial (a: plantas emergentes, b: plantas flotantes, c: plantas sumergidas).

extremo del humedal al otro, paralelo al sustrato (Mitsch y Gosselink, 2007; Hernández, 2016), y los humedales de flujo vertical, donde el agua fluye de arriba hacia abajo, perpendicular al sustrato, mediante tubería con perforaciones. Con el objetivo de aprovechar las ventajas de cada tipo de humedal y con ello obtener el mayor rendimiento posible y mejor remoción de materia orgánica, se pueden utilizar en conjunto tanto los HC de flujo superficial y subsuperficial, o el uso combinado de HC de flujo subsuperficial horizontal y vertical. En los humedales superficiales y de flujo vertical, el lecho permanece insaturado de agua por lo que se dan procesos aerobios por el contacto aire-agua, mientras que en los humedales de flujo horizontal el lecho está saturado completamente, lo cual favorece procesos de desnitrificación, fermentación y procesos anaerobios, ya que el contacto entre el aire y el agua está impedido por la misma saturación del lecho o sustrato. Los HC pueden utilizarse como sistemas de tratamiento primario, secundario o terciario, la selección dependerá de la calidad del agua a tratar y del uso que se le dará al agua tratada. Cuando se requiere limpiar a mínimas o nulas concentraciones de contaminantes, los HC suelen utilizarse como sistemas terciarios. Los sistemas primarios y secundarios incluyen filtros de sólidos, desarenadores, trampas de aceites y grasas.

De acuerdo al inventario nacional de plantas de tratamiento, de las 2287 existentes en áreas urbanas, los principales procesos y sistemas utilizados son las lagunas de estabilización (31.6%), y lodos activados (30.6%). Otros sistemas de tratamiento corresponden a menos de 7%, entre ellos el uso de humedales construidos (Conagua, 2014). Es común no observar amplio uso de humedales construidos en zonas urbanas, dado que para su construcción se requieren grandes áreas. Algunos autores como Rivas *et al.* (2011) describen que el área para implementar un humedal debe ser de 3.4 m² por cada persona equivalente. Si se considera una zona urbana donde la población es 5000 habitantes, el área para el humedal debería ser al menos de 17 000 m², cuya desventaja sería contar con un área tan amplia. Por lo anterior, es que el uso de humedales construidos está pensado para comunidades rurales, donde la población es menor, y hay mayor posibilidad de contar con superficies para su implementación. Si se cuenta con un área adecuada para construir un humedal para limpiar el agua residual de una población urbana, la construcción sería más económica que una planta de tratamiento convencional, además de más fácil de operar.

Casos de humedales construidos en zonas rurales de México

No existe inventario del uso de humedales construidos en México, y de los casos existentes en la literatura, se ha demostrado la eficiencia de los HC en remover contaminantes utilizando vegetación común de humedales naturales. La vegetación es uno de los principales componentes del humedal, la cual también funciona como filtro de los contaminantes, ya que parte de los compuestos en el agua (nitrógeno, fósforo, etcétera) son utilizados por la vegetación para su crecimiento, mientras que otros compuestos orgánicos son solo adsorbidos a la vegetación. En este sentido, el tipo de vegetación en los humedales es sin duda un factor que ha sido sometido a investigación desde el uso de dichos sistemas. De acuerdo a Vymazal (2011) la principal vegetación utilizada en la región tropical y subtropical en humedales construidos son especies características de humedales naturales como *Phragmites australis* (Common reed), especies del género *Typha* (*latifolia*, *angustifolia*, *domingensis*, *orientalis* and *glauca*), *Scirpus* (*lacustris*, *validus*, *californicus* and *acutus*) spp., y especies de *C. papyrus*. Varios estudios en HC con *Typha* sp., se han hecho en México para tratar aguas residuales domésticas (Romero-Aguilar *et al.*, 2009; Rivas *et al.*, 2011; Marin-Muñiz, 2016) o aguas contaminadas de río (Hernández y Ruiz-Enzástiga, 2010; Navarro *et al.*, 2011). Con el objetivo de hacer a los humedales construidos sistemas más estéticos y además de implementarlos como sistemas de tratamiento de aguas residuales, se han realizado estudios de eficiencia de remoción en humedales usando plantas ornamentales (Cuadro 1), que generalmente son cultivadas en áreas terrestres o en macetas como adornos, sin embargo, su adaptación a humedales ha demostrado ser una opción que favorece el tratamiento de aguas residuales, con eficiencias de remoción de nitrógeno y fósforo superiores a 50% y demanda química de oxígeno y coliformes cercanas a 100% de remoción (Cuadro 1). Por lo que considerar la producción masiva de plantas ornamentales en humedales construidos es una característica que sirve como propuesta para los que se encargan de cuidar y operar sistemas de humedales construidos. Es decir, realizar proyectos de venta de plantas ornamentales producidas en humedales. Por lo tanto, los beneficios que se obtienen del uso de humedales construidos incluyen tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales, ingresos económicos por la venta de flores y reutilización del agua tratada. Flores de alcatraces (*Zantedeschia aethiopica*), caña de indias o platanillo (*Canna hybrid*), y

Cuadro 1. Uso de humedales artificiales con plantas ornamentales

Humedal	Vegetación utilizada	Población donde se utiliza	Área de humedal (m ²)	Eficiencia de remoción	Referencia
SS-FH	<i>Typha</i> sp., <i>Zantedeschia aethiopica</i> , etc	Pinoltepec, Emiliano Zapata, Veracruz.	*60	NT: 47% PT: 33% DQO: 67%	Hernández (2016)
SS-FH	<i>Canna hybrid</i> , <i>Alpinia purpurata</i> y <i>Hedychium coronarium</i>	Pastorías, Actopan, Veracruz	**3.6	F: 35-45% Cl: 28-34 %	Marín-Muñiz, En prensa.
SS-FH	<i>Canna hybrids</i> y <i>Strelitzia reginae</i>	México	*65	DQO: 86% NT: 30-33 % PT: 24-44%	Merino-Solís et al. (2015)
SS-FV	<i>Zantedeschia aethiopica</i> (6 meses) después <i>Canna indica</i> (3 meses)	Ocotlán, Jalisco	**0.48	NT: 22.4% PT: 5% DQO: 65%	Zurita y White (2014)
SS-FH	<i>Zantedeschia aethiopica</i> y <i>Heliconia Golden Torch</i>	Xalapa, Veracruz	**0.38	DQO: 70% P-PO ₄ : 76% NO ₃ : 76%	Galindo (2012)
SS-FV	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Instalaciones de Centro de Invest. Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC) de UAM Xochimilco, México.	*55	DQO: 92 % N-NH ₄ : 85% P-PO ₄ : 80%	Ramírez-Carrillo et al. (2009)
SS-FH	<i>Pontederia sagittata</i>	Xalapa, Veracruz	**0.90	DQO: 81% NT: 58%	Olguín et al. (2008)
SS-FH	<i>Strelitzia reginae</i> , <i>Zantedeschia aethiopica</i> , <i>Canna hybrids</i> , <i>Anthurium andreaeanum</i> , <i>Hemerocallis</i> , <i>Dumortieri</i>	Ocotlán, Jalisco	**0.06	DQO: >75% P: 66% Coliformes:>99%	Zurita et al. (2006)
SS-FV	<i>Heliconia psittacorum</i>	Tapachula, Chiapas	*300	DQO: 91% Coliformes: 93 %	Orozco et al. (2006)

*sistemas de tratamiento comunitario. **Sistemas de tratamiento experimentales. NT: nitrógeno total, PT: Fósforo total, P: Fósforo, DQO: Demanda química de oxígeno, F: fluoruro, Cl: cloruro, N-NH₄: nitrógeno en forma de amonio, N-NO₃: nitrógeno en forma de nitratos, y P-PO₄: fósforo en forma de fosfatos.

especies de Heliconias (Montealegre, 2010; Carrera, 2016), han sido recientemente evaluadas y probadas en sistemas de humedales construidos.

Usos del agua tratada en humedales construidos

La reutilización del agua es sin duda una situación necesaria debido a su escasez, sin embargo, utilizar el agua después de haber tenido otros usos, generalmente no es común por la carga de contaminantes. Cuando el agua es tratada mediante los humedales, ésta elimina gran parte de los contaminantes y favorece su reutilización. El reúso del agua depende en gran medida de su calidad (Cuadro 2). En el área acuícola el agua tratada es utilizada para el cultivo de peces, siempre y cuando el líquido tenga calidad idónea para tal fin. Para dicho caso generalmente el HC suele ser un tratamiento terciario, es decir, antes de llegar el agua a tratar por el HC, ya pasó por otros tratamientos, tales como filtros de sólidos, desarenadores o trampa de grasas. La reutilización del agua para irrigación en áreas agrícolas y áreas verdes, así como para usos urbanos no potables y porcícolas que se describen en el Cuadro 2, generalmente no requiere forzosamente que el sistema de HC sea un tratamiento secundario o terciario, sino utilizar al humedal como único tratamiento es suficiente. Utilizar los HC como sistemas de tratamiento de aguas residuales es una situación que atenúa la escasez de agua, disminuye su

consumo de agua de calidad para fines diferentes al potable, y con ello coadyuva a permitir la recarga natural de los acuíferos. De igual manera, la reutilización del agua favorece el ahorro económico, tanto a nivel industrial como del hogar, dado que el agua que se contamina se reutiliza cíclicamente.

Una situación por la que en muchas ocasiones la implementación de este tipo de tecnologías no prosperan, a pesar de que se observa funcionamiento de descontaminación, es por falta de adopción del sistema; es decir, muchas veces los proyectos que incluyen la aplicación de humedales, se desarrollan mientras existe el proyecto, y pocas

veces surge el interés comunitario por continuar haciendo uso de los sistemas para el tratamiento de agua, a pesar de que hay un beneficio colectivo. La falta de manuales de diseño y operación de HC y el conocimiento general de los mismos (Zurita *et al.*, 2011; García-García *et al.*, 2016), son situaciones reportadas que han limitado el uso de dichos sistemas para tratar el agua residual, producir vegetación ornamental y hacer otros usos del agua tratada. La implementación de humedales resulta una necesidad como acción local ligada a soluciones alternativas a problemas ambientales a nivel internacional para lograr la sustentabilidad (Lascurain, 2016).

CONCLUSIONES

LOS humedales construidos o artificiales son una alternativa ecológica y económicamente viable para mejorar la calidad del agua. Al limpiar el agua mediante dicha eco tecnología se favorece la reutilización del agua para diferentes usos industriales y domiciliarios, entre otros, y propicia la producción de plantas ornamentales como alternativa económica para los operadores del humedal, lo cual a su vez, favorece la adopción de los humedales en la población. Los alcatrazes y heliconias son plantas de ornato comúnmente utilizado en los humedales construidos en México. Resulta pertinente promover este tipo de sistemas para escalar y replicar su uso.

LITERATURA CITADA

Carrera R. 2016. Evaluación de la adaptación y viabilidad de comercialización de plantas ornamentales en humedales construidos en sitios con diferentes condiciones climáticas. Tesis de Maestría en Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. Xalapa, Veracruz.

CONAGUA. 2014. Comisión Nacional del Agua. Num3ragua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. P. 100.

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

Cuadro 2. Usos del agua tratada en humedales construidos.

Área de uso de agua tratada	Ejemplos de uso
Acuícola	Agua tratada apta para cultivo de peces
Agrícola	Irrigación de cultivos que no sean tubérculos, principalmente árboles de cítricos, riego en viveros y de áreas de producción floral.
Áreas verdes	Riego en parques, iglesias, jardines escolares, campos de golf, cementerios, domiciliar.
Hogar	Uso en el trapeado, sanitario, lavado de banquetas y autos.
Industrial	Uso para enfriamiento de equipo, uso del agua para construcción, mezclado con otras descargas orgánicas industriales para favorecer tratamiento.
Porcícola	Agua para lavado de áreas de crecimiento de cerdos
Recarga de acuíferos	Recarga subterránea, control de cuñas salinas.
Recreacional y ambiental	Uso en lagos y lagunas, mejora de pantanos, y reservas naturales.
Usos urbanos no potables	Uso para apagar incendios, climatización, agua para uso sanitario, lavado de banquetas, y canchas deportivas.

Hernández M.E. 2016. Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable* 1(2): 1-12.

Hernández M.E., Ruiz-Enzástiga P. 2010. Riparian constructed wetlands for improving wáter quality in a polluted river in southeastern Mexico. XVII World congress of the international commission of Agricultural and Biosystems Engineering. Québec City, Canada.

Lascurain M. 2016. Una estrategia para el desarrollo sustentable en tiempos de globalización económica. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable* 1 (1): 35-48.

Marín-Muñiz J. Luis. 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.

Marín-Muñiz J.L., María E. Hernández., Amaya S.I. S/F. Removal of fluoride and chloride by horizontal-flow constructed wetland mesocosms with polyculture and monoculture ornamental plants. In press.

Méndez-Mendoza A.S., Bello-Mendoza R., Herrera-López D., Mejía-González G., Calixto-Romoa A. 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., Villegas E., De Anda J., López-López A. 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.

Mitsch W.J., Gosselink J.G. 2007. *Wetlands*, fourth ed. John Wiley & Sons, Nueva York.

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.

- Navarro A., Hernández M.E., Bayona J., Morales L. Ruiz P. 2011. Removal of selected organic pollutants and coliforms in pilot constructed wetlands in southeastern Mexico. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* 97: 7-8.
- Olguín E., Sánchez-Galván G., González-Portela R., López-Vela M. 2008. Constructed wetland mesocosms for the treatment of diluted sugarcane molasses stillage from ethanol production using *Pontederia sagittata*. *Water Research*. 42: 3659-3666.
- Orozco C.E., Cruz A.M., Rodríguez M.A., Pohlen A.F. 2006. Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria. *Higiene Sanidad y Ambiente*. 6: 190-196.
- Ramírez-Carrillo H.F., Luna-Pabello V.M., Arredondo-Figueroa J.L. 2009. Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 8 (1): 93-99.
- Rivas A., Barceló-Quintal I., Moeller G.E. 2011. Pollutant removal in a multi-stage municipal wastewater treatment system comprised of constructed wetlands and a maturation pond, in a temperate climate. *Water, Science and Technology* 64 (4): 980-987.
- Vymazal J. 2011. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia* 674: 133-156.
- Zurita F., Anda J., Belmont M.A. 2006. Performance of Laboratory-Scale Wetlands Planted with Tropical Ornamental Plants to Treat Domestic Wastewater. *Water Quality* 41(4): 410-417.
- Zurita 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(1): 139-150.
- Zurita F., White J. 2014. Comparative Study of Three Two-Stage Hybrid Ecological Wastewater Treatment Systems for Producing High Nutrient, Reclaimed Water for Irrigation Reuse in Developing Countries. *Water*. 6: 213-228.

