

Infraestructura urbana resiliente: Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales



La rápida urbanización de las ciudades ocurre en el contexto de una precaria planeación urbana, lo que resulta en problemas como el establecimiento de viviendas irregulares en zonas no aptas para asentamientos humanos, incremento del riesgo para sus habitantes y el deterioro de los recursos naturales. Al mismo tiempo que sucede esta expansión urbana, los problemas sociales como la inequidad social, la pobreza y el desempleo han incrementado. Además, estos problemas se pueden agudizar debido a los efectos del cambio climático.

Entre los ecosistemas más afectados por el crecimiento urbano se encuentran los humedales.

Los humedales son tierras de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, donde la capa freática está habitualmente al mismo nivel o cerca de la superficie, o bien el terreno está cubierto por aguas poco profundas (Moreno-Casasola and Barry, 2009). Además, estos ambientes se caracterizan por la presencia de especies vegetales capaces de tolerar la Los humedales son tierras de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, donde la capa freática está habitualmente al mismo nivel o cerca de la superficie, o bien el terreno está cubierto por aguas poco profundas (Moreno-Casasola and Barry, 2009). Además, estos ambientes se caracterizan por la presencia de especies vegetales capaces de tolerar la condición de inundación permanente o temporal.

Los humedales brindan un elevado número de servicios ecosistémicos como la protección contra tormentas, atenuación de inundaciones, provisión de materiales y la purificación del agua. Por este último servicio los humedales han sido llamados los riñones del planeta. Gracias a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, se eliminan los contaminantes orgánicos e inorgánicos contenidos en el agua que fluye a través de los humedales (Mitsch and Gosselink, 2015; Marín-Muñiz, 2017). No obstante, pese a la importancia de estos ecosistemas estos son frecuentemente desecados.

Co-beneficios sociales y económicos

- Un humedal artificial como el que se construyó en Xalapa puede poner agua a disposición para más personas, al tiempo que se reutiliza el agua tratada.
- Disminuye la contaminación de cuerpos de agua cercanos al evitar el vertido de aguas no tratadas al medio natural.
- La reutilización del agua tratada significa un ahorro económico para las instituciones y el gobierno local al dejar de consumir y pagar agua de la red municipal.
- En zonas rurales con poca infraestructura hidráulica, los humedales artificiales son una opción viable para el tratamiento de aguas residuales y a su vez promueven la conservación del entorno natural.
- La capacitación para el diseño, implementación y mantenimiento del humedal promueve la creación de grupos interdisciplinarios de investigación que pueden realizar evaluaciones relacionadas el monitoreo y los beneficios de contar con ese tipo de sistemas, aportando datos científicos que sustentan la relevancia de esta solución basada en la naturaleza.





Humedal natural.

Por lo anterior, recuperar las funciones de estos ecosistemas brinda importantes beneficios a la comunidad, tanto por su función depuradora del agua, como por el control de la temperatura y las inundaciones en zonas urbanas y periurbanas al acumular y retener el agua de lluvia, además de ser un importante hábitat para especies adaptadas a estas condiciones cambiantes, mejorando la biodiversidad del sitio.

Este rescate se puede hacer restaurando humedales naturales o construyendo humedales artificiales. Los humedales artificiales son celdas con sustrato y vegetación en los que se imitan los procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes de las aguas residuales, tal y como ocurre en los humedales naturales, brindando además un hábitat para diversas especies terrestres y acuáticas (Mitsch and Gosselink, 2015).

Los mecanismos por los que este tipo de sistemas son capaces de depurar las aguas residuales se basan en los siguientes principios:

- Eliminación de sólidos en suspensión gracias a procesos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.

- Eliminación de materia orgánica por la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O₂) o anaerobios (sin O₂).

- Eliminación de nitrógeno ya sea por acción directa de las plantas, o por procesos de nitrificación-desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.

- Eliminación de fósforo principalmente debido a los procesos de adsorción sobre los componentes del sustrato.

- Eliminación de patógenos mediante la absorción en el sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

Además del tratamiento de las aguas residuales municipales, los humedales han sido utilizados por una variedad de industrias para el tratamiento de escorrentía de aguas agrícolas y de lluvias, lixiviados en vertederos, rebose de alcantarillados, drenaje de minas y aguas residuales domésticas.

Tipos de humedales artificiales

De acuerdo con el tipo de flujo del agua a través del sistema, los humedales artificiales se clasifican en humedales de flujo sub-superficial y humedales de flujo superficial. Es importante destacar que el humedal implementado en Xalapa corresponde al tipo sub-superficial.

Humedales de flujo sub-superficial

Estos sistemas se diseñan con el objetivo de proporcionar un tratamiento secundario avanzado del agua, y consisten en canales o zanjas excavadas, rellenos de material granular en los que el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de estos materiales y al fluir lentamente a través de ellos entra en contacto con las raíces de las plantas que penetran hasta el fondo del sustrato. Además, estos humedales son de los más utilizados pues tienen la ventaja de tratar cantidades significativas de agua y evitar la aparición de vectores transmisores de enfermedades como los mosquitos (Tilley et al. 2014).



Humedal de flujo sub-superficial circular.

Duración

La etapa de construcción de los módulos de un humedal artificial depende de su diseño y tamaño. En el caso del humedal artificial subsuperficial construido por CityAdapt en la ciudad de Xalapa, la obra se realizó en alrededor de ocho meses. La vida útil del sistema depende del mantenimiento que se le brinde y esta puede ser de muchos años.

Lugar de implementación

Los humedales artificiales pueden construirse prácticamente en cualquier sitio que cuente con un terreno con la superficie necesaria para su instalación y que tenga la topografía adecuada para facilitar un funcionamiento por gravedad. Estos pueden ser pequeños, por ejemplo, para escuelas o edificios públicos, o de mayor tamaño para tratar las aguas residuales de pequeñas localidades e incluso municipios.

Beneficiarios

En el caso del humedal artificial instalado en una institución de enseñanza superior de Xalapa se estiman alrededor de 630 beneficiarios directos. Este humedal es capaz de tratar poco más de 16,000 litros de aguas residuales cada cuatro días, cantidad que es utilizada para el riego del campo de fútbol. Además, al dejar de usar agua de la red para el riego, este volumen queda disponible y puede cubrir las necesidades básicas de más de 100 personas.

Amenazas atendidas



Seqüías



Pérdida de disponibilidad de agua

Relación con ODS y SENDAI



Prioridad 2: Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo.

Prioridad 3: Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.



Lecciones aprendidas

- En México solo el 60% de las aguas residuales se tratan, esto supone serios obstáculos para la resiliencia de las ciudades por lo que este tipo de soluciones responden a un problema de grandes proporciones, haciendo uso de espacios verdes urbanos que pueden al mismo tiempo servir para el tratamiento de agua. En escala adecuada esta solución puede apoyar a la resiliencia de una ciudad media como Xalapa.

- El diseño sistémico de soluciones que respondan a problemáticas locales como es el caso del tratamiento de aguas residuales demanda un trabajo transdisciplinario, en donde es necesario que urbanistas, arquitectos, ingenieros y biólogos establezcan un lenguaje común. También demanda un trabajo interinstitucional y con gobiernos locales vecinos que apunte a la conservación de los servicios ecosistémicos que ofrecen los espacios verdes urbanos, evitando el vertimiento de aguas residuales sin control en zonas donde los servicios públicos no pueden llegar.

Fases de implementación

Etapa 1. Diseño

Estudios preliminares: topografía y mecánica de suelos.

Diseño :

1 Con base en las condiciones del terreno y el volumen de aguas residuales a tratar, se determina el tiempo de retención necesario para tratar el agua y el arreglo geométrico (superficie necesaria).

2 Una vez definido el arreglo geométrico se diseña la obra civil y el sistema de tratamiento primario el cual normalmente utiliza un biodigestor anaerobio.

En el caso del humedal instalado en Xalapa se optó por un sistema que consiste en un biodigestor a donde llegan directamente las aguas residuales, este se encuentra conectado a un sistema de tres humedales de flujo subsuperficial donde se trata el agua y finalmente esta se almacena en un tanque con capacidad suficiente (Figura 1).

Este sistema de humedales puede funcionar en serie o en paralelo, contando con un sistema de válvulas y tuberías que permite que el filtrado sea a través de los tres módulos o que actúen de forma separada sin importar el orden Figura 1.

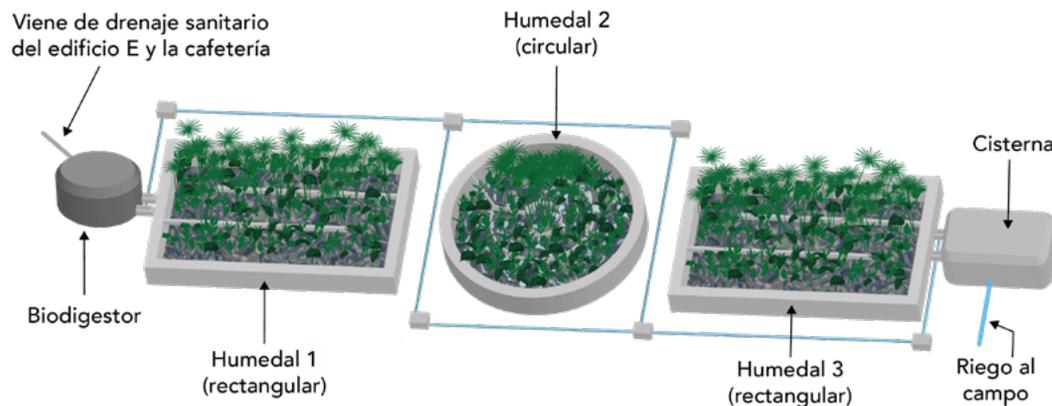


Figura 1. Arreglo de sistemas de humedales.

Costos e insumos

El costo por litro de agua tratada fue de USD 16.40, sin embargo, el diseño y construcción de este tipo de proyectos obedecen a condiciones específicas de cada sitio por lo que este costo debe considerarse indicativo.

Etapa 2. Paleta vegetal

De acuerdo con las condiciones climáticas y de carga orgánica del sistema de humedales diseñado, se seleccionaron plantas con alta capacidad para la remoción de nutrientes y con valor ornamental como parte de la estrategia de salida del proyecto; desde esta perspectiva y de acuerdo con las recomendaciones de Delgadillo et al. (2010) se optó por la siguiente paleta vegetal:

Nombre común: Ave del paraíso
Nombre científico: *Strelitzia reginae*



- Apta para la eco-región
- Fácil propagación.
- Capacidad media de transformación de nutrientes en biomasa.
- Potencial de remoción de N, P y K por la vía de poda. y cosecha de biomasa.
- Alto valor ornamental.
- Capacidad media de captura de carbono.

Nombre común: Antorcha
Nombre científico: *Heliconia*



- Planta adecuada a la ecorregión.
- Gran capacidad de crecimiento y remoción de nutrientes en exceso.
- Potencial medio de remoción de N, P y K por medio de poda.
- Alto valor ornamental.
- Capacidad media de captura de carbono.

Nombre común: Alcatraz
Nombre científico: *Zantedeschia Aethiopica*



- Capaz de crecer bajo diversas condiciones.
- Fácil propagación.
- Capaz de una alta transformación de nutrientes en biomasa.
- Potencial de remoción de N y P por la vía de poda y cosecha de biomasa.
- Alto valor ornamental
- Capacidad media de captura de carbono

Nombre común: Papiro
Nombre científico: *Cyperus papyrus*



- Perenne.
- Plantas ubicuas.
- Gran capacidad de crecimiento y remoción de contaminantes y nutrientes en exceso.
- Potencial alto de remoción de N y K.
- Alto potencial de crecimiento.
- Alta capacidad de producción de Oxígeno.
- Alta capacidad para capturar carbono.
- Alto valor ornamental
- Alto valor como forraje.

Indicadores

Implementación	<ul style="list-style-type: none"> • Humedales construidos (#).
Impacto cuantitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de agua que puede tratar el humedal (m³). • Cantidad de contaminantes eliminados del agua (Unidades de medición de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT.). • Cantidad de aguas residuales que dejan de incorporarse a la red de drenaje (m³). • Disminución en el consumo de agua de la red municipal de agua potable (m³). • Ahorro económico (pesos/año)
Impacto cualitativo	<ul style="list-style-type: none"> • Percepción de las personas sobre el mejoramiento en su calidad de vida.



Referencias

- Delgadillo, o., Camacho, A., Pérez, L., Andrade M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Universidad de Barcelona y Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba Bolivia. 115p.
- Flörke, M., Kynast, E., Bärlund, I., Eisner, S., Wimmer, F., and Alcamo, J. (2013). Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: A global simulation study. *Global Environmental Change* 23, 144–156. doi: 10.1016/J.GLOENVCHA.2012.10.018.
- García-García, P. L., Ruelas-Monjardín, L., and Marín-Muñiz, J. L. (2016). Constructed wetlands: a solution to water quality issues in Mexico? *Water Policy* 18, 654–669. doi: 10.2166/WP.2015.172.
- Hernández, M. E., Galindo-Zetina, M., and Juan Carlos, H. H. (2018). Greenhouse gas emissions and pollutant removal in treatment wetlands with ornamental plants under subtropical conditions. *Ecological Engineering* 114, 88–95. doi: 10.1016/J.ECOLENG.2017.06.001.
- 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, 90–95. Available at: <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1028> [Accessed August 1, 2022].
- Mitsch, W. J., and Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands*. 5th ed. John Wiley & Sons.
- Moreno-Casasola, P., and Barry, W. G. (2009). Breviario para describir, observar y manejar humedales., eds. P. Moreno-Casasola and W. G. Barry Xalapa, Ver. México: Serie Costa Sustentable no 1., Instituto de Ecología A.C., CONANP, US Fish and Wildlife Service, US State Department. Available at: http://www.inecol.edu.mx/inecol/libros/Breviario_Humedales.pdf [Accessed August 17, 2022].
- Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond P., Schertenleib R., Zurbrügg C. (2014), *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*, 2nd Revised Edition, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland.