



CÁMARA DE
DIPUTADOS
LXIV LEGISLATURA



Secretaría
de Educación
Gobierno de Puebla

CONCYTEP
Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Puebla

Solk
UTIM
UNIVERSIDAD
TECNOLOGICA
DE IZÚGAR DE MATAMOROS

En el marco del
ANIVERSARIO
UUTT

Foro

“El uso adecuado del agua residual y otras medidas para mitigar la escasez de agua en tiempo de sequía”

**7 jul. 2021 10:00 a. m.
Ciudad de México**

Memorias

Las presentes memorias incluyen los resúmenes en extenso que fueron abordados en el Foro virtual **“El uso adecuado del agua residual y otras medidas para mitigar la escasez de agua en tiempo de sequía”**, que tuvo lugar el día 7 de julio de 2021. Este evento fue convocado por la Comisión de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla, la Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, el Laboratorio Nacional del Agua CONACyT y la Red Temática Gestión de la Calidad y Disponibilidad del Agua.

Es importante destacar que los resúmenes que se incluyen fueron sometidos a dos dictámenes de pares ciegos. Su contenido es responsabilidad de quienes lo presentan como autores y no refleja ninguna postura de las Instituciones convocantes.

Dr. Amado Enrique Navarro Frómeta

Contenido	
Algunas consideraciones sobre el uso del agua residual para el riego agrícola. Dr. Amado Enrique Navarro Frómata	4
El uso de aguas residuales provenientes de la Ciudad de México en la agricultura del Valle del Mezquital, Hidalgo. Lic. Dulce María Bautista-García	10
Reúso potencial del agua residual agrícola en los Distritos de Riego del noroeste de México. Dr. Leonel Ernesto Amábilis Sosa	18
Aprovechamiento integral del agua tratada a través de la segregación previa de efluentes residuales. Dra. María del Carmen Durán Domínguez	23
El reúso del agua tratada en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Morelia Michoacán y el rescate urgente del Lago de Cuitzeo. Dr. Salvador Sánchez	29
Propuestas para mejorar el método para determinar la disponibilidad oficial de agua superficial en México. Dr. Sergio Arturo Rentería Guevara	33
La gestión del agua en la industria. Dra. Sofía E. Garrido Hoyos	41
Impacto del MST sobre la estabilidad de humedales en zonas áridas. El caso del Ecocampus BUAP en Valsequillo, Puebla. Dr. Jesús Ruiz Careaga	46
Instalación de Humedales Artificiales (HA) para el tratamiento y reúso de aguas residuales en zonas semiáridas de México. Dr. Aldo Antonio Castañeda Villanueva	54
Humedal artificial para tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico de Boca del Río. Dra. Fabiola Lango Reynoso	59
Baño Seco Permapreta. Ing. Fernando San Esteban	63
Sistemas de hidroponía NFT y el efecto de funcionalización con M. oleífera para el tratamiento de agua residual en la Zona Chinampera. M.C. Nury Infante	69
Remoción de fluoruro y As en agua por medio de carbonizado de hueso de pez pleco sintetizado en un horno rural. M.C. Sergio Armando Cruz-Briano	74
Remoción de triclosán del agua mediante procesos de adsorción y fotodegradación. M.C. Lázaro A. González Fernández.	79
Residuos sólidos urbanos y aguas residuales en Izúcar de Matamoros: hacia un nuevo paradigma. C. David Navarrete Rosas	84
Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un sustrato a base de biocarbón y su efecto en <i>Amaranthus hypochondriacus</i> L. Lic. Isabel Jasso-Acosta	90
Adaptación de procesos de oxidación avanzada con biofiltros para el tratamiento de agua de lluvia. Dra. Refugio Rodríguez Vázquez	96
Evaluación de la remoción de Cd y Pb en mezcla y tolerancia a aguas residuales por vitroplantas de <i>Typha</i> sp. con adición de ácido cítrico. Lic. Amauri Ponce Hernández	102

Instalación de Humedales Artificiales para el tratamiento y reúso de aguas residuales en zonas semiáridas de México.

Dr. Aldo Antonio Castañeda Villanueva
Universidad de Guadalajara, México.

Resumen

Actualmente más del 65% de las aguas residuales generadas en nuestro país no reciben ningún tipo de tratamiento y son descargadas a cuerpos de aguas superficiales y/o subterráneos provocando su continua contaminación. Por otra parte, existen tratamientos alternativos no convencionales como los Humedales Artificiales (HA) que a pesar de requerir de ciertas condiciones de temperatura, humedad y tiempo de retención hidráulica, han demostrado que, con bajos costos de instalación, operación y mantenimiento, son una opción sustentable para la remoción de carga orgánica y contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas, así mismo presentan una amplia adaptabilidad ya que se construyen con plantas típicas de la región donde se instalan como las macrófitas, comunes en las regiones semiáridas del occidente y norte de nuestro país. La adecuada promoción e instalación de estos sistemas naturales contribuye a la reducción de la contaminación y la conservación de diversos cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Introducción

La descarga de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias sin tratamiento provoca la contaminación de los cuerpos de agua receptores disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas, así mismo la descarga de aguas residuales de origen urbano proviene de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana que se colecta en el drenaje, de entre sus principales contaminantes encontramos: nitrógeno y fósforo, compuestos orgánicos, bacterias coliformes fecales, materia orgánica (Jiménez y col., 2010).

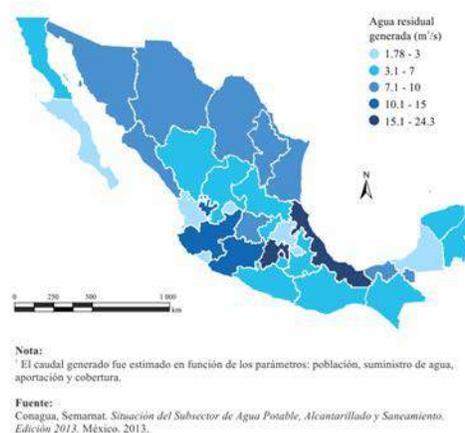


Figura 1: Generación de aguas residuales por estado en la república mexicana (2012).

Durante el año 2012, en nuestro país los centros urbanos descargaron más de 230 m³/s de aguas residuales (figura 1), para la remoción de los contaminantes en las aguas residuales municipales existen diversos procesos convencionales de tratamiento los más comunes son: lodos activados, lagunas de estabilización, lagunas aireadas, filtros biológicos y reactores aeróbicos, en ese año

solo el 43.4% de las aguas residuales municipal recibieron algún tipo de tratamiento, siendo los más comunes las lagunas de estabilización y lodos activados (figura 2).

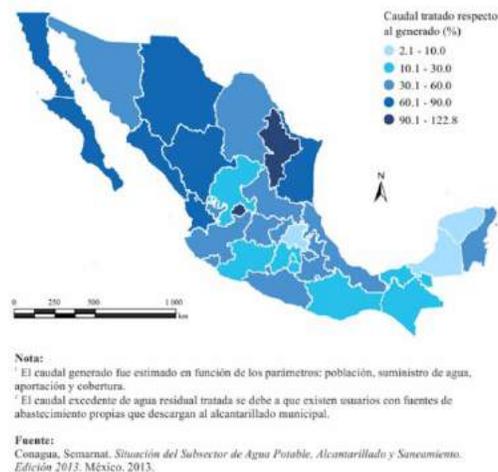


Figura 2: Caudal tratado en referencia al generado por cada estado (2012).

En la actualidad las zonas semiáridas de nuestro país se encuentran principalmente en los estados del altiplano en el norte-occidente en los estados de: San Luis Potosí, Zacatecas, Sinaloa, Baja California, Sonora, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango y Chihuahua.

Técnicamente los HA son sistemas integrados y complejos donde se verifican interacciones entre el agua, las plantas, los microorganismos, la energía solar, el sustrato y el aire, con la finalidad de mejorar la calidad del agua residual y proveer la conservación medioambiental, su funcionamiento se apoya principalmente en tres principios básicos: 1) la actividad bioquímica de los microorganismos, 2) el aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día y, 3) el soporte físico de un lecho inerte para el desarrollo de los rizomas de las plantas, además de operar como material filtrante (figura 3).

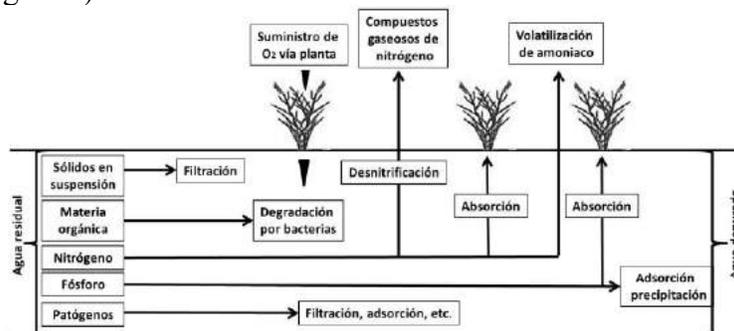


Figura 3: Proceso de depuración en los humedales artificiales.

Los HA al igual que los naturales pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua tales como: sólidos en suspensión, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nutrientes, metales, patógenos y otros productos químicos (Castañeda y Flores, 2013). En la figura 4 se puede apreciar el esquema de un HA de tipo sub-superficial con flujo horizontal.

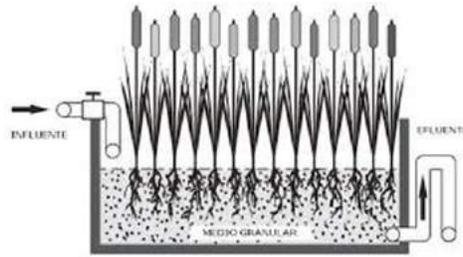


Figura 4: Humedal Artificial tipo sub-superficial de flujo horizontal.

Instalación de HA

Las dimensiones generales y específicas del HA dependen principalmente de la cantidad de agua residual a tratar y el contenido de contaminantes, es muy común elegir a la DBO o la DQO como el parámetro de diseño (Yocum, 2019).

El tipo de HA para aguas domésticas en poblaciones rurales en regiones semiáridas del centro-occidente de México pueden ser sub-superficial con flujo horizontal, en condiciones normales un m³ de HA puede tratar aproximadamente 135 litros de las aguas residuales domésticas (Jenkins, 2005), y para las zonas rurales semiáridas del país se requiere de 4 a 6 m² de HA por habitante.

Los modelos para el diseño de HA más empleados son los de: a) Reed, b) Crites and Tchobanoglous y c) Kadleck y Knight, estos se basan en los principios de Darcy a flujo laminar tipo tapón, estos modelos consideran básicamente: la concentración del contaminante a la entrada y salida, el tamaño, porosidad, profundidad y conductividad hidráulica del sustrato y la temperatura promedio del lugar donde se instalara él HA, los resultados que proporcionan son: Área superficial (ancho y largo) del HA, así como el tiempo de retención hidráulico teórico (Castañeda y col., 2018).

Regularmente los sistemas basados en HA incluyen un pre-tratamiento (desarenador gravitacional), el HA y un pos-tratamiento para el control bacteriano (laguna de oxidación, radiación solar, laberinto de oxidación, entre otros), una vez estimado el tamaño del HA para las necesidades específicas, las principales consideraciones para su instalación son, de manera sintética las siguientes:

- 1) Identificar la ubicación más adecuada para el sistema de tratamiento: definiendo el pre-tratamiento, el humedal y el pos-tratamiento, aprovechando la corriente principal de las aguas residuales, preferentemente mediante la acción de la gravedad.
- 2) Realizar pruebas de mecánica de suelos para verificar la permeabilidad del terreno, en caso de ser necesario utilizar geo-membrana u otro material que asegure al menos un 80% de impermeabilidad.
- 3) Para el humedal graduar el fondo de la excavación para que tenga una pendiente del 0.5 al 1% en terminados (1 a 5° de inclinación).
- 4) Instalar la tubería necesaria para asegurar un flujo tapón en todo momento, así como los accesorios (válvula y/o cuello de ganso) en la parte más profunda para mantener el nivel hidrodinámico adecuado de operación y motivar el crecimiento de las raíces de las plantas.
- 5) Colocar el sustrato seleccionado: el tamaño de la grava en los primeros 50 cm de entrada y los últimos 50 cm a la salida debe ser de 5 cm de diámetro, para disminuir las obstrucciones, el resto del sustrato deberá ser de entre 0.5 y 3 cm, con profundidad efectiva según los cálculos del diseño (40 a 80 cm).
- 6) Colectar y trasplantar los especímenes de macrófitas incluyendo hojas, tallo de 20 a 30 cm, raíces y retoños; la raíz debe ser colocada 5 cm debajo del sustrato. Las aneas deberán

- ser colocadas con una distancia de 1 metro entre cada planta; los carrizos, juncos, y espadañas pueden ser plantadas a 15 cm de distancia (Delgadillo y col., 2010).
- 7) Colocar una capa de tierra fértil de 5 cm de espesor sobre todo el área del humedal con planta para promover una zona de raíces consistente, bajando el nivel de agua gradualmente para motivar que las raíces crezcan a mayor profundidad.
 - 8) Saturar la celda del humedal con agua hasta 2 cm menos que la superficie, permitiendo que se evapore lentamente, manteniendo el suelo húmedo durante todo el período de propagación, que dura aproximadamente de 2 a 3 meses.
 - 9) Una vez que la vegetación se haya establecido, se debe ajustar el nivel hidrodinámico para propiciar la penetración más profunda de raíz de la planta a través del sustrato, el mayor beneficio del humedal se obtendrá cuando el 80% de la profundidad del sustrato este cubierto por la raíz de las plantas.
 - 10) Al salir el agua del humedal debe pasar a través del pos-tratamiento en el cual se realiza principalmente el control micro-orgánico mediante la luz solar u otro medio, es necesario realizar análisis periódicos tanto del agua de entrada como de salida sobre todo cuando esta última se reutiliza, por ejemplo, para el riego de cultivos.

Resultados

Al evaluar periódicamente más de 10 HA, en los últimos 15 años, se ha evidenciado que los más comunes en las zonas rurales del centro-occidente de México son del tipo sub-superficial de flujo horizontal y mixto, cuantificando contaminantes a la entrada y salida se observan reducciones significativas, desde el 45 al 95% en parámetros como: DQO/DBO, Nitrógeno total, Fósforo total, Sólidos Suspendidos Totales, Conductividad Específica, Organismo Coliformes Totales, entre otros. En casi el 75% de los casos estos parámetros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles contemplados en la normatividad oficial vigente referente a aguas tratadas y aguas tratadas para su reúso.

En comparación a los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales, los HA presentan menores costos de instalación, operación y mantenimiento, no obstante, estos requieren de mayores extensiones de terreno, mayor tiempo de tratamiento y condiciones climatológicas adecuadas.

Reflexiones finales

Una alternativa sustentable y accesible para muchas poblaciones rurales en el saneamiento y reúso de sus aguas residuales domésticas es la instalación y operación de HA's, los cuales pueden ser promovidos desde las instituciones oficiales como: CONAGUA, SEMARNAT, SADER, y SEDATU, con el apoyo técnico de entidades académicas y de investigación como: CONACyT, IMTA, UdeG, UNAM, entre otras. Por tanto, dentro de la búsqueda de soluciones permanentes para la sustentabilidad hídrica de nuestro país, una tarea primordial en el compromiso de la Honorable Cámara de Diputados consiste en cristalizar esfuerzos, voluntades y visiones en sistemas como los HA's, coordinando las acciones legislativas tanto para conjuntar a los actores (poblaciones rurales, gobiernos municipales, instancias estatales y asesores técnicos), bajo un adecuado marco jurídico que permita, además de la promoción e incentivación de estos tratamientos, la gestión de recursos para su instalación, generando condiciones normativas que favorezcan la transparencia en la supervisión tanto en su operación, como en la optimización y mantenimiento, que trascienda a los periodos de las administraciones públicas.

En concreto, la propuesta es que desde la H Cámara de Diputados se promueva e incentive la instalación, operación y mantenimiento de sistema para el tratamiento y reúso de aguas residuales

domésticas con HA, en poblaciones rurales de escasos recursos y en zonas semiáridas del país, coordinando acciones para conjuntar a los gobiernos municipales con asesores técnicos (centros de investigación, universidades) y fuentes de financiamiento (gobierno estatal y federal), estableciendo un marco jurídico que asegure el buen funcionamiento de estos tratamientos durante muchos años (superando a los periodos de los gobiernos municipales y estatales), en este sentido nuestra universidad se encuentra con la mejor disposición para coadyuvar con el asesoramiento técnico y capacitación, así mismo y en lo particular sus atentos servidores para compartir experiencias tanto en el diseño como en la instalación y operación de HA's.

Acciones encaminadas a reducir de la contaminación de nuestros cuerpos de agua y conservación de los recursos naturales como el agua, son de vital importancia para el México de hoy y del mañana.

Referencias

Castañeda, A., Flores, H. y Sahagún, R. (2018). Comparación de tres modelos para el diseño de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de poblaciones rurales en Los Altos de Jalisco”, en “Las ciencias en los estudios del agua; viejos desafíos sociales y nuevos retos tecnológicos”. Editorial Universidad de Guadalajara, ISBN: 9786075473222. [en línea] <https://studylib.es/doc/7255957/%E2%80%9Ccomparaci%C3%B3n-de-tres-modelos-para-el-dise%C3%B1o-de-un-humedal>

Castañeda, A. y Flores, H. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. En *Tecnología y Sociedad*. Año 3, número 5. México.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.

Comisión Nacional del Agua (Conagua/Semarnat), (2014). Estadísticas del Agua en México. Edición 2013. México.

Jenkins, J. (2005). *Humanure Handbook*. Chelsea Green Publishing, USA.

Jiménez, C., Durán, J. y Méndez, J. (2010). Calidad del agua. En: Jiménez C., M.L. Torregrosa y L. Aboites (Eds.). *El Agua en México: cauces y encauces*. AMC-Conagua. México.

Yocum, D. (2019). *Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración*. Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara. USA.