



**Análisis de la eficiencia de *sansevieria trifasciata*, *opuntia ficus-indica* y *alocasia odora* como alternativa de fitorremediación en el tratamiento de aguas residuales en humedales construídos**

**Efficiency analysis of *Sansevieria trifasciata*, *Opuntia ficus-indica*, and *Alocasia odora* as an alternative for phytoremediation in the treatment of wastewater in constructed wetlands.**

Sofía Elizabeth García-Martínez<sup>1</sup>; Fátima Campos-Fernando<sup>1</sup>; José Jaime González-Elizondo<sup>1</sup>; Lidilia Cruz-Rivero<sup>2\*</sup>; Blanca Isabel Hernández-Lara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División de Ingeniería Ambiental, TECNM-ITS de Tantoyuca, Desv. Lindero Tametate SN col. La Morita, cp. 92100, Tantoyuca, Veracruz, México

<sup>2</sup>Departamento de posgrado e Investigación, TECNM-ITS de Tantoyuca, Desv. Lindero Tametate SN col. La Morita, cp. 92100, Tantoyuca, Veracruz, México

\*Autor de correspondencia: [lilirivero@gmail.com](mailto:lilirivero@gmail.com)

Recibido 25 de abril 2024; recibido en forma revisada 05 de julio 2024; aceptado 25 de noviembre 2024

**RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de las plantas *Sansevieria trifasciata* (espada de rey), *Opuntia ficus-indica* (nopal) y *Alocasia odora* (oreja de elefante) en el tratamiento de aguas residuales generadas en una institución de educación superior ubicada en el norte del estado de Veracruz, México, mediante un proceso de fitorremediación. Se diseñaron ensayos utilizando recipientes de 20 litros con lechos filtrantes compuestos por piedra, tierra, ceniza y grava, en los cuales se sembraron las plantas, realizando tres repeticiones para cada una. Durante el proceso, se midieron variables como pH, temperatura, coliformes fecales, sólidos

suspendidos totales y *E. coli*. Los resultados mostraron que la *Sansevieria trifasciata* y la *Alocasia odora* fueron eficaces en la regulación del pH, mientras que la *Opuntia ficus-indica* destacó en la eliminación de coliformes fecales. Asimismo, las tres especies de plantas demostraron una reducción significativa de *E. coli*, alcanzando los límites establecidos por la norma NOM-001-SEMARNAT 2021, lo que permite concluir que las especies evaluadas, presentan un potencial significativo para su uso en humedales construídos destinados al tratamiento de aguas residuales.

**Palabras Clave:** Fitorremediación, Aguas residuales, *Sansevieria trifasciata*, *Opuntia ficus-indica*, *Alocasia odora*, Humedales construidos.

## ABSTRACT

This research aims to evaluate the efficiency of the plants *Sansevieria trifasciata* (mother-in-law's tongue), *Opuntia ficus-indica* (prickly pear), and *Alocasia odora* (elephant ear) in the treatment of wastewater generated at a higher education institution located in the northern part of Veracruz, Mexico, through a phytoremediation process. Experiments were designed using 20-liter containers with filtering beds composed of stone, soil, ash, and gravel, in which the plants were planted, with three repetitions for each species. During the process, variables such as pH, temperature, fecal coliforms, total suspended solids, and E. coli were measured. The results showed that *Sansevieria trifasciata* and *Alocasia odora* were effective in regulating pH, while *Opuntia ficus-indica* excelled in eliminating fecal coliforms. Additionally, all three plant species demonstrated a significant reduction of E. coli, reaching the limits established by the NOM-001-SEMARNAT 2021 standard, allowing us to conclude that the evaluated species show significant potential for use in constructed wetlands designed for wastewater treatment.

**Keywords:** Phytoremediation, Wastewater, *Sansevieria trifasciata*, *Opuntia ficus-indica*, *Alocasia odora*, Constructed Wetlands.

## INTRODUCCIÓN

Los humedales construidos (CW) por sus siglas en inglés (Constructed wetlands), que utilizan plantas ornamentales han demostrado ser prometedores en el tratamiento de aguas residuales a través de la fitorremediación. Los estudios han demostrado altas eficiencias de eliminación de varios contaminantes, incluidos metales pesados, tintes y materia orgánica (Zamora *et al.*, 2019).

Los biomateriales derivados de *Opuntia ficus*, también han demostrado potencial en la descontaminación de aguas residuales, logrando altas capacidades de sorción y porcentajes de eliminación de tintes, metales y otros contaminantes (Nharingo y Moyo, 2016).

En los CW de flujo subsuperficial, varias plantas acuáticas, incluidas las especies *Cyperus*, *Sagittaria* y *Typha*, demostraron ser efectivas para reducir la demanda biológica de oxígeno, los nutrientes, la turbidez y los coliformes fecales (Neralla *et al.*, 1999). El uso de residuos plásticos como material filtrante en los CW no afectó significativamente la eliminación de contaminantes ni el crecimiento de

las plantas, lo que podría ofrecer una alternativa rentable (Zamora *et al.*, 2019).

La contaminación del agua por metales pesados tóxicos es un problema ambiental global. Ha llevado al desarrollo de tecnologías alternativas para la eliminación de metales pesados de sitios contaminados. Existen estudios donde se elaboran microcosmos de humedales construidos utilizando *Alocasia púber* como un posible método de tratamiento para aguas residuales que contienen metales pesados; en un estudio realizado por Mohamad Thani, *et al.*, (2019), se utilizaron aguas residuales sintéticas con metales pesados Cd, Cr, Cu, Ni y Zn con varias concentraciones de metales pesados (5 mg/L, 10 mg/L y 100 mg/L) en los sistemas. Se probaron seis tiempos de retención hidráulica (TRH) diferentes (2, 4, 6, 8, 10 y 12 días). Los resultados obtenidos mostraron eficiencias de eliminación de metales pesados de >99% después del día 12.

Raju *et al.*, (2023), llevaron a cabo un estudio sobre el uso de la fitorremediación, específicamente utilizando las plantas lirio araña (*Hymenocallis*

*littoralis*) y heliconia (*Heliconia psittacorum*), para el tratamiento de aguas residuales; tanto las plantas de heliconia como de lirio araña resultaron eficaces en el tratamiento de aguas residuales, mostrando reducciones significativas de TDS (sólidos totales disueltos), turbidez y DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Los valores de TDS para el agua tratada con heliconia y lirio araña fueron de 185 ppm y 225 ppm, respectivamente, lo que indica una reducción significativa de los sólidos disueltos. Los valores de turbidez también se redujeron significativamente, con 0,7 NTU y 0,1 NTU (turbidez nefelométrica) para las plantas de heliconia y lirio araña, respectivamente.

Un tratamiento adecuado de las aguas residuales resulta fundamental para prevenir los efectos adversos derivados de su vertido directo en los cuerpos de agua y suelos sin tratar. Esta práctica, de no ser controlada, genera consecuencias perjudiciales tanto para la salud humana como para el medio ambiente, además de acarrear efectos negativos en los ámbitos social y económico. En este sentido, las actividades de regeneración y

reutilización de aguas residuales adquieren una relevancia crucial. Diversos países han implementado procesos de regeneración y reutilización con resultados satisfactorios, contribuyendo significativamente a la sostenibilidad y al bienestar general (Seguí Amórtegui, *et al.*, 2019).

La contaminación de los cuerpos de agua es una problemática ~~la cual tiene~~ con dos panoramas; uno donde el acceso es limitado y de baja calidad y ~~per~~ otro donde existe el acceso al recurso hídrico, pero no un cuidado del mismo, al no utilizarlo de manera consciente, en donde los cuerpos de agua se usan como vertederos de residuos y el no tener un correcto tratamiento de las aguas residuales (Cely Calixto, Bonilla Granados y Carrillo Soto, (2022).

En México se cuenta con el Programa de Nacional Hídrico 2020-2024, derivado del Plan Nacional de Desarrollo, encaminado a enfrentar los problemas del agua que permitirán reducir las brechas de inequidad, avanzar en la seguridad hídrica del país con un enfoque de derechos humanos que coloca en el centro de las prioridades a las personas; bajo las

perspectivas territorial, multisectorial y transversal. Este Programa está definido en el artículo 3° de la Ley de Aguas Nacionales como el documento rector de los Programas Hídricos de las cuencas del país (CONAGUA, 2020).

La reutilización de aguas residuales tratadas se presenta como una alternativa para aportar disponibilidad hídrica. El uso tradicional para riego en la agricultura cuenta con sustancias reutilizables complementarias a los fertilizantes como el nitrógeno y el fósforo. Como solución al tratamiento sustentable del agua, los efluentes provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden ser utilizados de acuerdo a las necesidades y condiciones de cada región. Los procesos de utilización de las aguas residuales tratadas para riego de hortalizas son verificados analíticamente, dependiendo de las necesidades de nutrientes de las plantas o vegetación (Miller Gil y Fábrega Duque, 2021).

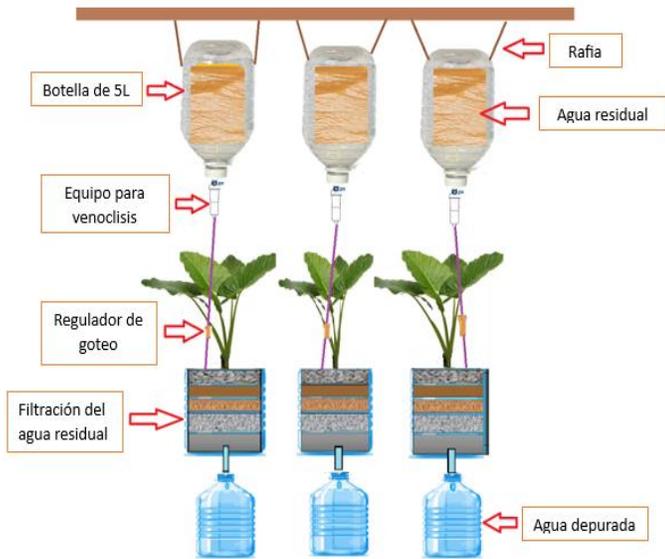
Los humedales artificiales son más eficientes en el tratamiento de aguas residuales que otros sistemas porque están compuestos por un sustrato, plantas

acuáticas y microorganismos que degradan los compuestos del agua mediante procesos en serie contenidos en un sistema (Pérez-López, Arreola-Ortiz y Zamora, 2018).

En el contexto de las instituciones educativas, los humedales construidos no solo sirven como una herramienta eficiente para el tratamiento de las aguas residuales generadas por las actividades diarias, sino que también ofrecen un entorno de aprendizaje práctico para estudiantes y docentes. Estos sistemas permiten a las universidades involucrarse activamente en la solución de problemas ambientales locales, al mismo tiempo que proporcionan una valiosa oportunidad para la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito del tratamiento de aguas.

En el presente proyecto se realizó el estudio para identificación de la efectividad de las plantas espada de rey (*Sansevieria trifasciata*), nopal (*Opuntia ficus-indica*) y Oreja de Elefante (*Alocasia odora*) en el tratamiento de aguas residuales ya que son especies nativas de la zona de estudio por lo cual son resistentes al clima de la ciudad y de acuerdo con la





**Figura 2.** Diseño del prototipo para las repeticiones de las plantas sistema de goteo (Elaboración propia)

**Variables evaluadas:** Para evaluar la condición de las plantas y conocer si contaban con los nutrientes necesarios. Se utilizó una aplicación móvil con la finalidad de verificar el crecimiento de las plantas, si presenta plagas o hongos, esta aplicación consiste en tomar una fotografía de la planta y ésta indica cuando necesita agua, sustrato, sol o si algún tipo de plaga le está provocando algún daño.

En la toma de muestras fue de acuerdo con la norma NMX-AA-003-1980 y para los análisis que se realizaron para identificar la efectividad del tratamiento se indican en la tabla 1 la normatividad aplicada.

**Tabla 1.**

Normatividad aplicada para realizar los análisis.

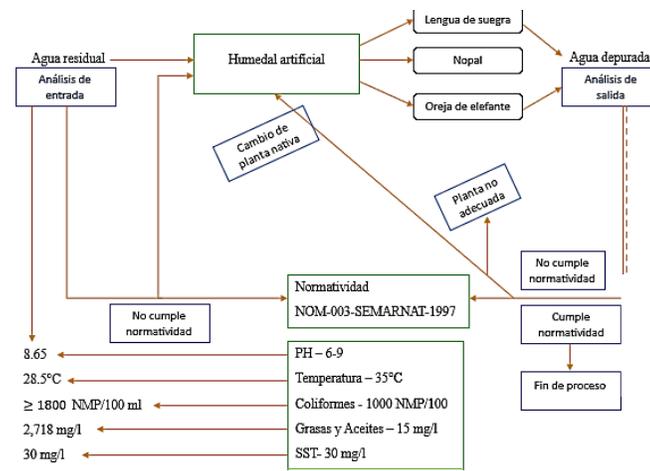
<i>Parámetro</i>	<i>Norma</i>
ph	NMX-AA-008-SCFI-2016
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013
Coliformes fecales y <i>E. coli</i>	NMX-AA-042-SCFI-2015
Sólidos suspendidos totales	NMX-AA-034-SCFI-2015

**Fuente:** NMX-AA-008-SCFI-2016, NMX-AA-007-SCFI-2013 y NMX-AA-042-SCFI-2015.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar utilizando un sistema de goteo, donde el agua era suministrada a las plantas ingresando posteriormente a cuatro lechos filtrantes. Posterior a ello se realizaba el análisis del agua tratada observando los resultados determinando si estaban dentro límites máximos permisibles establecidos en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

En la figura 3 se muestra un diagrama del proceso del desarrollo del proyecto donde era suministrado el agua a las plantas ingresando posteriormente a cuatro lechos filtrantes y al final se realizaba el

análisis del agua tratada observando los resultados determinando si estaba dentro límites máximos permisibles establecidos en la norma NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.



**Figura 3.** Diagrama de proceso del análisis y desarrollo del proyecto. Fuente (Elaboración propia)

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la toma de muestras de agua residual tomadas del edificio principal del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca se obtuvieron los siguientes resultados de los parámetros de pH, Temperatura, sólidos suspendidos, coliformes fecales y E. coli que se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados de análisis del agua residual

pH	Temperatura (°C)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	(E. Coli) (NMP/100 ml)	SST (mg/l)
26.4	8.64	≥1800	2	30

**Fuente:** Elaboración propia

En la realización de los ensayos algunas de las plantas no se obtuvo agua tratada es por esto que en la tabla 4 aparecen en color rojo con un cero los datos que no se lograron obtener de la repetición de las plantas esto debido a que la propia planta realizaba la absorción del agua y/o otra se evaporaba por las altas temperaturas, el análisis de los resultados fue mediante dos normas que fue la NOM-001-SEMARNAT-2021 y la NOM-003-SEMARNAT-1997 como se presenta en la tabla 3.

**Tabla 3.**

Normas aplicables en el análisis de resultados

Parámetro	Norma aplicada	Límite máximo permisible
Temperatura (°C)	NOM-001-SEMARNAT-2021	35
pH	NOM-001-SEMARNAT-2021	6-9

Coliformes		
fecales	NOM-003-SEMARNAT-1997	1,000
(NMP/100		
ml)		
(E. Coli)		
(NMP/100	NOM-001-SEMARNAT-	600
ml)	2021	
SST (mg/l)	NOM-003-SEMARNAT-1997	30

**Fuente:** (SEMARNAT, 2022),(SEMARNAT, 2003).

Las plantas de espada de rey y Oreja de Elefante regularon el pH ya que el agua residual sin tratar tenía un valor de 26.4 y las plantas lograron bajar un pH de hasta 7, la planta nopal logró una reducción de coliformes fecales y *E. coli* logrando estar dentro de los límites máximos permisibles de la norma NOM-003-SEMANART-1997.

### Discusión

La eficiencia de la planta nopal utilizado como coagulante en aguas residuales con alta turbidez y ph básico, alcanzó valores de remoción de turbidez del 97.4% y de color del 91.5%, siendo una alternativa ante coagulantes químicos como son el cloruro férrico y el sulfato de aluminio, además de tener una reducción en la producción de lodos (Bouaouine *et al.*, 2021). Con base a los resultados obtenidos se

obtuvo una remoción de microorganismos como es coliformes fecales de una reducción del 99% y 100% *E. coli*.

Las plantas de espada de rey y Oreja de Elefante han sido estudiadas y aplicadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, siendo efectivas en la remoción sólidos, DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), en el presente trabajo se demostró su disminución de sólidos, así como la regulación del pH, como se presenta en el trabajo Carillo (2024), quien realiza su propuesta en humedales de flujo subsuperficial horizontal colocando la espada de rey para su evaluación por dos meses, logrando la reducción DQO, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal (NA) y fosforo teniendo un resultado de 32.1%, 53.9%, 65.1% y de 98% de eficiencia respectivamente. En el trabajo de Brito Espino *et al.* (2023), se muestra el resultado de un humedal subsuperficial vertical, utilizando la carrizo (*Phragmites australis*) y oreja de elefante, analizando su eficiencia de reducción DBO, DQO, SST (solidos suspendidos totales) y Coliformes

termo tolerantes presentando los resultados después de siete días 92,4% - 88.8%, 90.9% - 89.3%, 98.1% - 97% y 85.7% - 28.6% respectivamente. Las plantas espada de rey y Oreja de Elefante (*Alocasia odora*) son eficientes en la remoción de contaminantes, así como el control de pH como se demostró con los ensayos realizados en el trabajo.

### CONCLUSIONES

La implementación de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales en instituciones educativas de nivel superior representa una estrategia innovadora y sostenible para abordar la creciente preocupación por la gestión del agua y la protección del medio ambiente. Los humedales construidos son sistemas de tratamiento natural que utilizan la vegetación, el sustrato y los microorganismos para purificar las aguas, transformándolas en un recurso valioso y reduciendo la carga contaminante que estos vertidos pueden representar para el entorno.

Entre las especies vegetales con potencial para su uso en humedales artificiales, se destacan el nopal (*Opuntia ficus-indica*), la espada de rey (*Sansevieria*

*trifasciata*) y la oreja de elefante (*Alocasia odora*), debido a su eficiencia en procesos de fitorremediación. Sin embargo, en el caso del nopal, es necesario realizar más estudios sobre su eficacia en la remoción de microorganismos patógenos, ya que hasta el momento no se han reportado investigaciones previas sobre su aplicación en humedales artificiales con este objetivo específico. Este aspecto se identificó como una línea de investigación relevante en el presente trabajo.

La implementación de humedales construidos puede contribuir a la reducción de los costos operativos asociados con el tratamiento convencional de aguas residuales. Estos sistemas, al no depender de productos químicos y al utilizar recursos naturales disponibles, representan una alternativa más económica y ecológica frente a tecnologías más complejas y costosas.

Desde una perspectiva educativa, los humedales construidos pueden convertirse en un modelo de sostenibilidad y responsabilidad ambiental dentro de la comunidad universitaria. Fomentar la conciencia sobre la importancia de la conservación del agua, el

tratamiento adecuado de las aguas residuales y la biodiversidad es fundamental para formar futuros profesionales comprometidos con el desarrollo sostenible. De esta manera, las instituciones educativas no solo contribuyen a la protección del medio ambiente, sino que también se posicionan como referentes en la adopción de soluciones innovadoras para la gestión del agua y la mejora de la calidad ambiental.

### BIBLIOGRAFÍA

- Bouaouine, O., I. Bourven, F. Khalil, y M. Baudu. «Efficiency of a Coagulation–Flocculation Process Using *Opuntia Ficus-Indica* for the Treatment of a Textile Effluent». *Desalination and Water Treatment* (2021): 137-43. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27650>.
- Brito Espino, S., Ramos-Martín, A., Mendieta-Pino, C., & Pérez Báez, S. O. (2023). Desarrollo de una metodología para el diseño, control y optimización de sistemas naturales resilientes de depuración de bajo costo basados en tratamientos anaerobios. <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/127047>
- Cely Calixto, N. J., Bonilla Granados, C. A., & Carrillo Soto, G. A. (2022). *Tratamientos de aguas residuales. Tratamientos de aguas residuales. 1.<sup>a</sup> ed. Vol. 1. Bogotá: Ecoe Ediciones*
- Comité de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz CEIEG (2023). [http://ceieg.veracruz.gob.mx/wpcontent/uploads/sites/21/2023/08/Tantoyuca.CM\\_.Ver\\_.2023.2.pdf](http://ceieg.veracruz.gob.mx/wpcontent/uploads/sites/21/2023/08/Tantoyuca.CM_.Ver_.2023.2.pdf)
- CONAGUA (2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Accedido 23 de febrero de 2025. <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499>.
- Miller Gil, Liz, y José Fábrega Duque. «Reutilización de aguas tratadas para riego. Caso de estudio: Efluente de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chitré, Panamá (2019-2020)». Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC, 29 de junio

- de 2021, 221-27. <https://doi.org/10.33412/apanac.2021.3188>.
- Mohamad Thani, Najaa Syuhada, Rozidaini Mohd Ghazi, Mohd Faiz Mohd Amin, y Zulhazman Hamzah. «Phytoremediation of heavy metals from wastewater by constructed wetland microcosm planted with *alocasia puber*». *Jurnal Teknologi* 81, n.o 5 (2019). <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13613>.
- Neralla, S., R. W. Weaver, T. W. Varvel, y B. J. Lesikar. «Phytoremediation and On-Site Treatment of Septic Effluents in Sub-Surface Flow Constructed Wetlands». *Environmental Technology* 20, n.o 11 (noviembre de 1999): 1139-46. <https://doi.org/10.1080/09593332008616911>.
- Nharingo, Tichaona, y Mambo Moyo. «Application of *Opuntia Ficus-Indica* in Bioremediation of Wastewaters. A Critical Review». *Journal of Environmental Management* 166 (2016): 55-72. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.10.005>.
- Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>
- Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-007-SCFI-2000.pdf>
- Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021. Secretaría de Gobernación Accedido 23 de febrero de 2025. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0).
- Pérez-López, M.E., A.E. Arreola-Ortiz, y P. Malagón Zamora. «Evaluation of Detergent Removal in Artificial Wetlands (Biofilters)». *Ecological Engineering* 122 (octubre de 2018):

135-42.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.036>

Raju, Hemadri Prasad, Mamilla Vijaya Kumar, y

Pachaivannan Partheeban. «Wastewater

Treatment in Constructed Wetlands by

Phytoremediation Technique». Editado por

V.R. Chate. E3S Web of Conferences 455

(2023): 03023.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20234550302>

3.

Seguí Amórtégui, Luis Alberto, Gabriela Moeller-

Chávez, y Andrés De Andrés Mosquera.

«Mexico, the Water Stress: Challenges and

Opportunities in Wastewater Treatment and

Reuse». En Water Policy in Mexico, editado

por Hilda R. Guerrero García Rojas, 20:75-87.

Global Issues in Water Policy. Cham: Springer

International Publishing, 2019.

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-76115-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76115-2_4).

Zamora, Sergio, J. Luis Marín-Muñíz, Carlos

Nakase-Rodríguez, Gregorio Fernández-

Lambert, y Luis Sandoval. «Wastewater

Treatment by Constructed Wetland Eco-

Technology: Influence of Mineral and Plastic

Materials as Filter Media and Tropical

Ornamental Plants». Water 11, n.o 11 (8 de

noviembre de 2019): 2344.

<https://doi.org/10.3390/w11112344>.