

Capítulo 4

Efecto del uso de aguas residuales tratadas en un humedal artificial sobre el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus*)

*Effect of use of treated wastewater in an artificial wetland on red radish (*Raphanus sativus*) cultivation*

*Tlen kipanós kih tlanahuatiskeh atl moyahuak tlen omōchipa' itech seh tlachihual achiahuitl itech toktli' rabano chichiltik (*Raphanus sativus*)*

Luis A. Hernández Vásquez¹ / Mauricio Rojas Ascensión¹ / Gregorio Hernández Salinas¹ / Emmanuel de J. Ramírez-Rivera¹ / Luis C. Sandoval Herazo^{2 3} / Neira Sánchez Zarate⁴ / Yovani López González⁴

Autor de correspondencia: Luis A. Hernández Vásquez
alfredohv_basicas@zongolica.tecnm.mx

<https://doi.org/10.61728/AE20252694>



¹ Innovación Agrícola Sustentable. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Km. 4 Carretera S/N Tepetitlanapa. 95005 Zongolica, Veracruz, México.

² Laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km 1.8, Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México.

³ Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Sincelejo 700001, Colombia

⁴ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Misantla Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, 93850 Misantla, Veracruz, México.



Resumen

La creciente demanda de agua en la agricultura ha provocado un cambio hacia la utilización de fuentes de agua no convencionales. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto del agua residual tratada, en un humedal artificial con *Eichhornia crassipes*, sobre el crecimiento del Rábano Rojo (*Raphanus sativus*). Las aguas residuales tratadas mostraron una disminución en el pH de 14.25 %, para DQO fue de 81.25 y para P-PO43- la reducción es de 11.07 %. El rábano creció 6.78 cm con agua de grifo (T1), 10.81 cm con agua tratada (T3) y 12.33 cm con agua sin tratamiento (T2). La producción de biomasa fue de 2.9 g, 8.3 g y 98 g para los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente. El sistema de humedales artificiales fue eficiente para la mejora de la calidad sanitaria del agua y adecuado para irrigar el cultivo de rábano rojo.

Abstract

The increasing demand for water in agriculture has caused a shift towards using non-conventional water sources. The present work aims to evaluate the effect of treated wastewater, in an artificial wetland with *Eichhornia crassipes*, on the growth of Red Radish (*Raphanus sativus*). The treated wastewater showed a decrease in pH of 14.25 %, for COD it was 81.25 and for P-PO43- the reduction was 11.07 %. The radish grew 6.78 cm with tap water (T1), 10.81 cm with treated water (T3), and 12.33 cm with untreated water (T2). The biomass production was 2.9 g, 8.3 g, and 98 g for treatments T1, T2, and T3, respectively. The artificial wetland system was efficient for improving the sanitary quality of water and suitable for irrigating the red radish crop.

Tlahtolsepanol

Hueyih Iskaltil tlen moneki' atl itech tla'tokyo' okih nonotzkkih seh patlal itech motlanahuatilo' yen atl mach moh tlanahuatia nosoh mach moh onāna' '. Inin tekitl kih pia' itekió kitomachihuas tlen panos itech atl moyahuak, tlen mochipahua' ika' seh mochihual achiahuitl ika' xihuitl Eichhornia crassipes, ihuan oksiotli' moh tlanahuatis pampa ipan moh iskaltis rábano chichiltik (*Raphanus sativus*). Amoyahuatl' tlen omoh chipa'keh okih teixpanti'keh kenin omoh tepitzintili' Ph yen 14.25%, pampa DQO oyahki' yen 81.25 ihuan pampa P-PO43-tepitzintili' yen 11.07%. rábano omoh iskalti' 6.78cm ikah atl yen kisa' itech grifo (T1), 10.81cm ikah atl yen omochipa' (T3) ihuan 12.33cm ikah atl yen ahmo' omōchipa' (T2). Mochihual yoltoktixtli' oyahki' yen 2.9g, 8.3g ihuan 98g pampa tlen omoh yektlalikeh T1, T2 ihuan T3, kistihui'. Yehyēkol tlasalol achiahuimochi'keh oyahki' huekapantik pampa omoh yektlali' kua'kuali' chipahuak atl ihuan kualli' pampa ik moh ahjuilis rábano chichiltik.

I. Introducción

El agua es considerada como uno de los recursos más importantes para el sustento de la vida (Hasan et al., 2019). El agua cubre el 70 % de la superficie del planeta Tierra. Sin embargo, solo el 0.007 % del agua está disponible para el consumo humano y desarrollo de las antropogénicas (Toledo, 2002; Hasan et al., 2019). En América Latina, se estima que 73M% de la extracción del agua se atribuye a la agricultura (Miralles y Muñoz, 2018; Mahlkecht et al., 2020).

La gestión del recurso hídrico tiene como finalidad la distribución equitativa, conservación, aprovechamiento y mejora en la calidad del agua suministrada. Sin embargo, más del 70 % de las actividades industriales, agroindustriales, comerciales y de servicios generan aguas residuales (Egea et al., 2019; Vargas, 2019). Una alternativa es el reúso de las aguas residuales, que se puede utilizar para el riego. Es una alternativa para enfrentar los desafíos en la gestión del agua, la crisis climática y las sequías periódicas. Aporta mayor disponibilidad de agua para los cultivos y reciclaje de nutrientes (Ramos et al., 2007; Guadarrama y Galván, 2015; Fragosó et al., 2021). A nivel mundial existen 20 millones de hectáreas irrigadas usando agua residual tratada, parcialmente diluida con agua, y en algunos casos sin ningún tipo de tratamiento (Hettiarachchi y Ardakanian, 2017). No obstante, el reúso de aguas residuales tiene riesgos; tales como contaminación de hortalizas por organismos patógenos, presencia de metales tóxicos y salinización de las tierras irrigadas. Además, en otros ecosistemas se

ha reportado que la presencia de sustancias tóxicas en el agua de riego impide el crecimiento normal de la raíz y, por tanto, su elongación (An, 2004; Young et al., 2019). De ahí la necesidad de desarrollar tecnologías de tratamiento para mejorar la calidad de las aguas residuales, con bajos costos, económicos y con alta eficiencia (Preisner et al., 2021).

La fitorremediación constituye una alternativa a esta problemática, debido a su elevada capacidad de absorción de contaminantes (Hernández et al., 2024). La fitorremediación es un proceso basado en plantas que absorbe o degrada el exceso de nutrientes en ambientes terrestres y acuáticos (Mustafa y Hayder, 2020). Los humedales artificiales son una tecnología basada en la fitorremediación. Entre las ventajas que presentan estos sistemas son; la nula generación de lodos, no producen olores, son de bajo costo de construcción y un mantenimiento sencillo (Osti et al., 2020). Son sistemas flexibles y poco susceptibles a cambios de caudal y carga del afluente. Estos sistemas incrementan o mantienen la diversidad ambiental de la zona con la creación de hábitats para la fauna (Mustafa y Hayder, 2020). Los Humedales artificiales se pueden construir utilizando macrófitos acuáticos emergentes y/o flotantes, teniendo una mayor injerencia los macrófitos flotantes, ya que, en sus extensas rizosferas flotantes, hay una mayor superficie disponible para el crecimiento de biopelículas (Walker et al., 2017). En particular, la macrófita flotante jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) tiene una ventaja significativa sobre otras plantas, debido a su excepcional absorción de nutrientes, resistencia a la contaminación y crecimiento masivo (Parwin y Paul, 2019; Prasad et al., 2021). El presente estudio tiene como objetivos, 1) evaluar la eficiencia de la macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en el tratamiento de las aguas residuales de lavandería; 2) determinar la calidad del agua a al final del tratamiento; y 3) evaluar los efectos del agua tratada sobre el Rábano rojo (*Raphanus sativus*).

II. Materiales y métodos

Se describe el área de estudio, luego se describen los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a las aguas utilizadas en el estudio, posteriormente se describe la germinación de semillas de rábano rojo (*Raphanus sativus*), establecimiento del cultivo, determinación de variables agronómicas en el rábano rojo, terminando con el análisis estadístico de los resultados.

Descripción del área de estudio y recolección de muestras

El presente estudio se realizó en la comunidad de Tecamalucan, perteneciente al Municipio de Acultzingo, Veracruz, latitud $18^{\circ}45'41''\text{N}$ y longitud $97^{\circ}13'37''\text{W}$, altitud 1,361, donde la temperatura promedio fue de 22°C (± 3.5).

Sistema de humedal artificial

El sistema de humedales artificiales estaba compuesto por un contenedor de plástico con un volumen útil de 30 L y un sistema de recirculación. El sistema de recirculación estaba compuesto por un tanque de plástico de almacenamiento externo y una bomba de agua sumergible con una capacidad de 0.05 Litros / segundo (Figura 1). El sistema se dispuso en un área protegida, lo que permitió una exposición adecuada al aire y luz solar. Las macrófitas flotantes utilizadas para este estudio fueron *Eichhornia crassipes*. Esta planta fue extraída de un cuerpo de agua cercano a la zona de estudio. Se seleccionaron plantas jóvenes sin enfermedades, que tuvieran una longitud de 10 ± 5 cm, sin considerar la raíz, con un peso promedio de 30 ± 5 g. Las macrófitas fueron trasladadas en bolsas plásticas y se colocaron en agua de grifo durante siete días para su adaptabilidad.

Figura 1.

*Sistema de humedal artificial con *Eichhornia crassipes**



Análisis fisicoquímicos a las aguas utilizadas para el riego

Para el experimento se utilizaron aguas residuales, provenientes de lavandería doméstica. Los experimentos se realizaron en modo discontinuo con un tiempo de retención hidráulica de 7 días. Para la recolección, conservación y análisis de las muestras, se siguieron los procedimientos establecidos, los Métodos Estándar (Rice et al., 2012). Los parámetros de control fueron pH, Conductividad Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) utilizando un potenciómetro marca Hanna (HI 98130, IN). De igual modo, se determinó la Demanda Química de Oxígeno (DQO) utilizando el método Estándar 5220 y fosfato-fósforo (P-PO43-). Se utilizó un colorímetro de fosfato (Hanna Instruments HI713, EE. UU.). Las concentraciones de N-NO3 se midieron con un kit de prueba de nitrato (Hanna Instruments HI97728B, Rumania).

Germinación de semillas de rábano

Se utilizaron semillas certificadas de *Raphanus sativus*, con pureza del 99 % y un 85 % de germinación. Las semillas fueron sometidas a un periodo de iluminación natural de 10 horas diarias. En la segunda semana, se evaluó el porcentaje de germinación. De las semillas que germinaron se seleccionaron las plántulas que presentaron mayor altura, fortaleza del tallo y mejor desarrollo de cotiledones y raíces.

Establecimiento del cultivo

El diseño experimental correspondió a bloques completos al azar con 3 tratamientos y tres repeticiones para un total de 9 unidades experimentales (parcelas), con un área de 4 m² (2m x 2m), en las cuales se marcaron 9 surcos (20 cm entre ellos) en los cuales se sembraron 50 semillas a una distancia de 4 cm. Los tratamientos fueron: T1 (Testigo) agua de grifo, T2 aguas residuales tratadas y T3 con aguas residuales crudas.

Determinación de variables agronómicas en el rábano

La toma de longitud de las plantas de rábano, esta medición comenzó a realizarse en la segunda semana, y a partir de ese momento cada semana se llevaba a cabo esta medición hasta finalizar el ensayo. La producción de rábanos se llevó a cabo por conteo manual, para determinar el número total. Los muestreos

se realizaron a partir de los 14 días después de siembra, con un intervalo de 8 días hasta cosecha; tomando 10 plantas al azar por unidad experimental. Para la determinación de la biomasa, cada planta muestreada fue seccionada en sus diferentes órganos (raíz y hojas), los cuales se colocaron en bolsas de papel Kraft debidamente identificadas posteriormente se llevaron a estufa hasta alcanzar peso seco constante a una temperatura 60 °C, una vez secas, se determinó su peso.

Análisis estadístico

Las variables agronómicas fueron sometidas a una comparación de medias mediante la prueba de Tukey a través de un diseño completamente al azar. Para todos los análisis estadísticos se utilizó el software MINITAB versión 21.42 (2024, Minitab, LLC) y GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software, Inc.), con un nivel de confianza de 95 %.

III. Resultados y discusión

Caracterización de las aguas utilizadas para riego de rábano

En la Tabla 1 se muestra la caracterización fisicoquímica de las aguas utilizadas para el riego. Se evidencia que los valores de todos los parámetros fueron mayores en el agua residual sin tratamiento (T2), comparado con el agua de grifo (T1) y las aguas tratadas (T3). Uno de los parámetros que se encuentra elevado en el agua residual de lavandería es la DQO (410 mg/L), lo que refleja una alta carga orgánica. Un estudio realizado por Melián et al. (2023) caracterizaron aguas residuales provenientes de lavanderías teniendo valores de DQO de 229 a 1920 mg/L, valores que se encuentran en el rango de las aguas residuales encontradas en el presente estudio.

El pH es uno de los parámetros más importantes a controlar en los cultivos como el rábano, en razón a que afecta la actividad de las bacterias nitrificantes e influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Zou et al., 2016). En este estudio, el pH se encontró en un rango entre 7.4 a 8.6, rangos que se encuentran por encima de los rangos de neutralidad.

Tabla 1.*Caracterización de aguas empleadas para el riego de rábano rojo*

Parámetros	Agua de grifo (T1)	Agua residual sin tratamiento (T2)	Agua residual tratada (T3)
pH	7.4 ± 0.1	8.63 ± 0.33	7.5 ± 0.20
CE (mS/cm)	0.33 ± 0.04	0.81 ± .06	0.94 ± 0.30
SDT (mg/L)	145 ± 15	370.0 ± 11	410.0 ± 9.0
DQO (mg/L)	4.0 ± 1.5	548.7 ± 53.3	102.9 ± 1.8
P-PO ₄ ³⁻ (mg/L)	1.5 ± 1.1	28.9 ± 0.92	25.7 ± 0.10
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	1 ± 0.5	30.0 ± 5.00	26.3 ± 4.04

Monitoreo de parámetros de riego

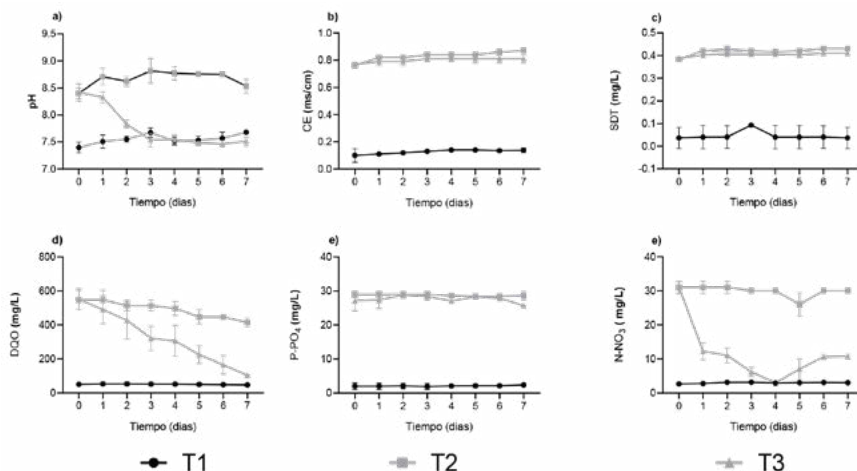
El proceso de fitorremediación de aguas residuales de lavandería tardó 7 días. Durante ese período se monitorearon los parámetros de pH, CE, SDT, DQO, P-PO₄³⁻ y N-NO₃ para los tratamientos. En la figura 2, se muestra el comportamiento de estos parámetros.

El pH varió de 8.33 a 7.29, lo que puede tener efectos benéficos para el desarrollo del jacinto de agua (Mendoza et al., 2018). Un rango de pH de 6.66 a 8.8 es adecuado para el crecimiento de hortalizas, beneficiando el desarrollo de sus raíces (Amori et al., 2022).

Los valores de CE y SDT se incrementaron un 14.3 ± 2.43 % y 12.2 ± 1.68 %, respectivamente. Este efecto se atribuyó principalmente a la evapotranspiración y a la evaporación del agua, debido a estos incrementos se considera como agua de buena calidad, apta para riego (Ramos et al., 2007). En cuanto a la DQO, esta fue reducida por el humedal en un 81.2 ± 2.08 %.

Figura 2.

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en las aguas de riego (T1: agua de grifo, T2: agua residual sin tratamiento y T3: agua residual tratada)



Un estudio realizado por Prasad et al. (2021) evaluaron el potencial fitorremediador de humedales artificiales con *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas grises. Los autores mencionan que la concentración inicial del agua fue de 113 mg/L y alcanzaron una remoción del 51.9 %. Lo que indica que los resultados obtenidos en el presente estudio son superiores. Por otro lado, al analizar la concentración de nutrientes en el agua de riego, se observa que el contenido de fosatos disminuye en un 11.1 ± 3.09 %, mientras que los nitratos se incrementaron un 34.6 %, lo que confirma la existencia de procesos de nitrificación y desnitrificación dentro del humedal. Estos resultados coinciden con lo reportado por Ramos et al. (2007), donde los autores tienen un incremento de 36 % de nitratos.

Número de hojas

Se partió de un porcentaje de germinación del 98 % de las semillas de rábano rojo. Los cotiledones emergieron simultáneamente en todos los tratamientos a los 5 días después de siembra (Figura 3). Por otra parte, la emisión de hojas verdaderas se presentó a los 8 días. El mayor número de hojas por planta durante el periodo de estudio se observó en los tratamientos T3, alcanzando valores de 8 a 9 hojas en total. Los tratamientos T2 presentaron un número de hojas intermedio (7–8), mientras que el tratamiento T1 presentó el menor

número de hojas (4-5). Aunque entre los tratamientos el número de hojas no fue significativamente diferente, el tratamiento T1 (agua de grifo) presentó el menor número de hojas, debido a las condiciones del agua de grifo.

Figura 3.

*Evaluación del crecimiento de las plantas de rábano rojo, *Raphanus sativus**

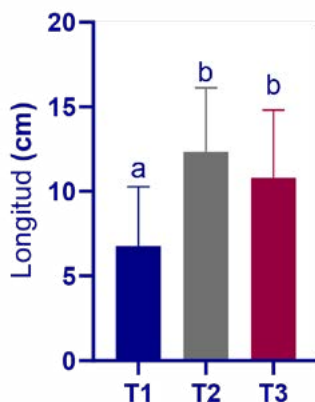


Longitud de las plantas de rábano

Los datos registrados evidenciaron un incremento constante en la longitud de las plantas en los distintos tratamientos hasta el día de cosecha. La mayor longitud la alcanzaron los tratamientos T2 (Agua residual sin tratamiento) siendo esta mayor a 12 cm, los tratamientos T3 (Aguas residuales tratadas) presentan una longitud de 10.8 cm, mientras que los tratamientos T1 alcanzó una longitud significativamente menor (<10 cm) hasta el día de cosecha (Figura 4).

Figura 4.

Longitud total de rábano rojo (*Raphanus sativus*) irrigado con los diferentes tratamientos. Los tratamientos con diferente letra representan diferencias significativas (Tukey 5 %)



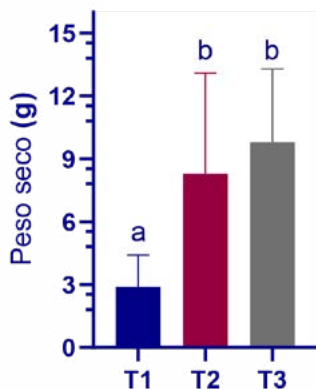
El bajo rendimiento en el crecimiento en las plantas regadas con agua del grifo fue una manifestación de deficiencias en los nutrientes, particularmente como P-PO43- y N-NO3- (Egbuikwem et al., 2020). Un estudio presentado por Ramírez y Pérez (2006) evaluaron el crecimiento de rábano rojo, irrigado con aguas residuales tratadas. Las aguas residuales contenían 933 mg/L de fósforo, lo que les permitió a las plantas de rábano alcanzar una longitud mayor a 20 cm. Similar a lo presentado en este estudio.

Producción de biomasa

El peso seco total de las plantas presentó un incremento constante en los distintos tratamientos. Es así como, los pesos secos más altos, se evidenciaron en los tratamientos T3 durante todo el período de estudio, alcanzando un peso promedio de 9.8 ± 3.5 g, un valor intermedio en los tratamientos T2, siendo de 8.3 ± 4.8 g. Por otra parte, el menor peso seco se presentó en las plantas del tratamiento T1, siendo inferior a 3 g (Figura 5).

Figura 5.

Biomasa de las plantas de rábano rojo (*Raphanus sativus*), irrigado con los diferentes tratamientos. Los tratamientos con diferente letra representan diferencias significativas (Tukey 5 %)



Los nitratos y fosfatos, tienen una función importante en la estimulación del desarrollo de las plantas, especialmente en la formación de raíces. La raíz en los rábanos es el órgano que más influye en el peso de la planta (Azcon y Talon 2000). Así, el tratamiento T1 presentó el menor peso seco, debido a la poca cantidad de nutrientes presentes en el agua de riego. Los tratamientos T2 y T3, además de presentar la mayor longitud, muestran el mayor tamaño en la raíz, lo que puede estar relacionado con las concentraciones de nutrientes. Un estudio realizado por Amori et al. (2022) evaluaron la idoneidad del agua residual tratada para el cultivo de lechuga y acelga en hidroponía. Los autores mencionan que los cultivos regados con aguas residuales tratadas tuvieron aproximadamente un 75 % más de biomasa seca. De manera similar, en el presente estudio los contenidos de materia seca de los brotes irrigados con agua residual tratada fueron mayores.

IV. Conclusiones

El sistema de humedales artificiales fue eficiente en la reducción de contaminantes provenientes de aguas residuales de lavandería doméstica. El uso de aguas residuales tratadas para la irrigación de rábano incide directamente en el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de rábano. El uso de aguas residuales tratadas en el riego de rábano no representa un riesgo para la producción de este cultivo. No existieron diferencias significativas entre el tratamiento (T2) aguas residuales sin tratamiento y aguas residuales tratadas (T3), debido

a que, en ambos tratamientos se obtuvieron resultados positivos con relación a germinación, altura de las plantas y producción de biomasa, sin embargo, se recomienda el uso de sistemas de humedales artificiales para evitar la contaminación que pudiera presentar cultivos irrigado solo con aguas residuales.

V. Bibliografía

- Amori, P. N., Mierzwa, J. C., Bartelt-Hunt, S., Guo, B., & Saroj, D. P. (2022). Germination and growth of horticultural crops irrigated with reclaimed water after biological treatment and ozonation. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130173–130190. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130173>
- AN, Y. J. (2004). Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. *Environment Pollution*, 127, 21–26. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00263-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00263-X)
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2021). *Estadísticas del agua en México*. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM%202021.pdf> (Octubre 2024)
- Egbuikwem, P. N., Mierzwa, J. C. & Saroj, D. P. (2020). Assessment of suspended growth biological process for treatment and reuse of mixed wastewater for irrigation of edible crops under hydroponic conditions. *Agricultural Water Management*, 231, 106034. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106034>
- Egea-Corbacho, A., Gutiérrez, S., & Quiroga, J. M. (2019). Removal of emerging contaminants from wastewater through pilot plants using intermittent sand/coke filters for its subsequent reuse. *Science of the Total Environment*, 646, 1232–1240. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.399>
- Fragoso, C. P. J., Rubiano, L. A., & Kerguelen, J. J. (2021). Análisis de variables fisicoquímicas en el proceso de remoción de coliformes en el sistema de lagunas de oxidación, Salguero, Valledupar (Colombia). *Información Tecnológica*, 32(1), 113–122 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100113>
- Guadarrama, M. E. & Galván, A. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura/impact of wastewater use in agricultura. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7), 22–44. <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/29>
- Hasan, M. K., Shahriar, A. & Jim, K. U. (2019). Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*, 5(8), e02145. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02145>
- Hernández-Vásquez, L. A., Romo-Gómez, C., Alvarado-Lassman, A., Prieto-García, F., Camacho-López, C. & Acevedo-Sandoval, O. A. (2024).

- Artificial Floating Islands for the Removal of Nutrients and Improvement of the Quality of Urban Wastewater. *Water*, 16(10), 1443–1456. <https://doi.org/10.3390/w16101443>
- Hettiarachchi, H., & Ardakanian, R. (2017). *Uso seguro de aguas residuales en la agricultura: ejemplos de buenas prácticas*. United Nations University UNU-FLORES. Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources.
- Mahlknecht, J., Gonzalez, B. R. & Loge, F. J. (2020). Water-energy-food security: a nexus perspective of the current situation in Latin America and the Caribbean. *Energy*. 194(3):1-17. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116824>
- Melián, E. P., Santiago, D. E., León, E., Reboso, J. V. & Herrera-Melián, J. A. (2023). Treatment of laundry wastewater by different processes: Optimization and life cycle assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109302. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109302>
- Mendoza, Y. I. I., Pérez, J. & Galindo, A. A. (2018). Evaluación del aporte de las plantas acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Información tecnológica*, 29(2), 205-214. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>
- Miralles, W. F. & Muñoz, C. R. (2018). An analysis of the water-energy-food nexus in Latin America and the Caribbean Region: Identifying synergies and tradeoffs through integrated assessment modeling. *The International Journal of Engineering and Science*, 7(1):8–24. <https://doi.org/10.9790/1813-07010825>
- Mustafa, H. M. & Hayder, G. (2020). Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.009>
- Osti, J. A. S., Do Carmo, C. F., Cerqueira, M. A. S., Giamas, M. T. D., Peixoto, A. C., Vaz-dos-Santos, A. M. & Mercante, C. T. J. (2020). Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by Eichhornia crassipes. *Aquaculture Reports*, 17, 100324. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100324>
- Parwin, R. & Paul, K. K. (2019). Efficiency of Eichhornia crassipes in the treatment of raw kitchen wastewater. *SN Applied Sciences*, 1(4), 381–390. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0400-0>
- Prasad, R., Sharma, D., Yadav, K. D. & Ibrahim, H. (2021). Preliminary study on greywater treatment using water hyacinth. *Applied Water Science*, 11(6), 88–96. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01422-4>
- Preisner, M., Neverova-Dziopak, E. & Kowalewski, Z. (2021). Mitigation of eutrophication caused by wastewater discharge: A simulation-based approach.

- Ambio*, 50, 413–424. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01346-4>
- Ramírez-Pisco, R. & Pérez-Arenas, M. I. (2006). Evaluación del potencial de los biosólidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agrícola y su efecto sobre el cultivo de rábano rojo (*Raphanus sativus* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59(2), 3543–3556. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914075010>
- Ramos-Espinosa, M. G., Rodríguez-Sánchez, L. M. & Martínez-Cruz, P. (2007). Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Hidrobiológica*, 17, 7–15.
- Rice, E. W., & Bridgewater, L. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association, Washington, DC.
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta ecológica*, (64), 9–18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906402>
- Vargas, S. (2019). *Escasez, trasvases y redistribución del agua en México*. (p 14). Impactos ambientales, gestión de recursos naturales y turismo en el desarrollo regional.
- Walker, C., Tondera, K. & Lucke, T. (2017). Stormwater treatment evaluation of a constructed floating wetland after two years operation in an urban catchment. *Sustainability*, 9, 1687–1697. <https://doi.org/10.3390/su9101687>
- Young S. L., Boateng G.O., Jamaluddine Z., Miller J. D., Frongillo E. A., Neilands T. B., Collins S. M., Wutich A., Jepson W. E. & Stoler J. (2019). The Household Water In Security Experiences (HWISE) Scale: development and validation of a household water insecurity measure for low-income and middle-income countries. *BMJ Glob Heal*, 4(5), e001750. <http://doi.org/10.1136/bmjgh-2019-001750>
- Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C. & Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresource technology*, 210, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>

