

Reúso de aguas residuales en la agricultura y soberanía alimentaria

Reuse of wastewater in agriculture and food sovereignty

Jonathan Hernández Pérez
Universidad Autónoma Chapingo

Thalía Ximena Tapia García
Universidad Autónoma Chapingo

Resumen

El crecimiento demográfico y el económico están incrementando la demanda del agua en todos los sectores, entre estos, el agropecuario. El objetivo de la investigación es analizar el uso de aguas residuales en la agricultura; la manera en que ayuda a abatir la escasez de agua potable, a mitigar el cambio climático y a garantizar la soberanía alimentaria, así como las variedades de cultivos que se pueden producir. México es uno de los principales países que aprovechan las aguas tratadas y sin tratar, por ejemplo, en el Valle del Mezquital, Hidalgo, se riegan más de 90 mil hectáreas anuales. El proceso permite ahorrar energía, costos de producción, fertilizantes y reducir el impacto ambiental. Para el estudio se consultaron las estadísticas de AQUASTAT de los principales países que emplean aguas residuales en su producción agrícola; y de la CONAGUA, de los tres distritos del Valle del Mezquital, Hidalgo; además, se realizó una revisión bibliográfica del tema.

Palabras clave:

Escasez, seguridad alimentaria, seguridad hídrica, cambio climático, Valle del Mezquital.

Abstract

Population and economic growth are increasing the demand for water in all sectors, including agriculture. The aim of this research is to analyze the use of wastewater in agriculture; how it helps reduce drinking water shortages, mitigate climate change, and ensure food sovereignty, as well as the varieties of crops that can be produced. México is one of the main countries utilizing treated and untreated water; for example, in the Valle del Mezquital, Hidalgo, more than 90,000 hectares per year are irrigated. The process saves energy, production costs, and fertilizers, and reduces the environmental impact. For the study, AQUASTAT statistics were consulted for the main countries that use wastewater in their agricultural production; and CONAGUA statistics for the three districts of the Valle del Mezquital, Hidalgo. Besides, bibliographic review was conducted on the topic.

Keywords:

Scarcity, food security, water security, climate change, Valle del Mezquital.

Fecha de recepción: 28 de noviembre de 2025

Fecha de aceptación: 18 de abril de 2025

Introducción »»

El crecimiento de la población y de la economía generan mayor presión en la demanda de agua en todos los sectores, principalmente en la producción de alimentos en el sector agropecuario; dicha demanda está deteriorando los recursos hídricos disponibles y, a su vez, generando cada vez más aguas residuales.

Se estima que, para 2050, la población mundial rondará los 10 000 millones de personas (Ting et al., 2024) y generará aguas residuales en una escala inimaginable (Fagundes & Marques, 2023); paradójicamente, en la actualidad, el tratamiento de aguas residuales es raro en muchos países (Contreras et al., 2017).

La urbanización e industrialización han provocado una sobredemanda en el consumo de agua que, día con día, produce un mayor deterioro en el medio ambiente (Narayanan et al., 2024) y en los ecosistemas hídricos más importantes, pues más del 80% de las aguas residuales generadas por procesos antrópicos se vierten al entorno y lo contaminan, lo que reduce al doble la disponibilidad del líquido vital en varias regiones (Aznar et al., 2021; De Anda & Shear, 2021), sobre todo en aquellas con problemas de escasez. Sin embargo, cuando las aguas residuales se someten a algún tratamiento para reutilizarlas, se puede revertir el daño causado en el ambiente, como los humedales, jardines públicos y la recarga de acuíferos.

Los países con mayores ingresos per cápita tratan el 70% de sus aguas residuales producidas; mientras que los países con ingresos medios lo hacen con el 28% al 38% del recurso; en el caso de los países con menores ingresos, solo el 8% de esas aguas se somete a un tratamiento (World Water Assessment Programme, 2017). Los países en vías de desarrollo reaprovechan sus aguas residuales para riego en agricultura, porque no tienen alternativas (Qadir et al., 2010), pero esto les permite impulsar sus economías locales (Bdour et al., 2009).

Lo anterior muestra que la calidad y disponibilidad del agua se afectan, indirectamente, por el cambio climático antropogénico (Tarhule, 2016), lo que genera mayor variabilidad en los ciclos de lluvias y de sequías más prolongadas (Aznar et al., 2021), así como el incremento general de la temperatura.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2024), más de 10% de la población mundial consume alimentos que provienen de suelos irrigados con aguas residuales. González & Rubalcaba (2011) sugieren emplearlas en agricultura mediante la planificación y el incremento paulatino. El uso agrícola de aguas residuales tratadas y no tratadas en la producción y autosuficiencia alimentaria es una alternativa para enfrentar los problemas de escasez hídrica e impacto en el ambiente.

Metodología

Se investigó información de los principales países que usan aguas residuales en la agricultura y los tres distritos de riego de la región del Valle del Mezquital en Hidalgo, México. Se consultaron dos fuentes de datos:

- 1) AQUASTAT, que ofrece información mundial de los principales países que reúsan aguas residuales en la agricultura; se analizaron los volúmenes y las superficies regadas con aguas residuales tratadas y no tratadas.
- 2) CONAGUA, para los datos locales sobre los tres distritos de riego analizados en la región del Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo: el 003 Tula, el 100 Alfajayucan y el 112 Ajacuba. Se revisaron las superficies regadas y los principales cultivos producidos en cada distrito de riego por cada ciclo agrícola.

Asimismo, se revisó literatura sobre el reúso de aguas residuales en la agricultura de los principales países como China, Arabia Saudita, Israel e India, y el costo-beneficio del proceso.

Resultados y discusión

En la agricultura mundial, el empleo de aguas residuales tratadas es de 6.7 km³ anuales, en tanto que el de aguas residuales sin tratamiento es de 8.3 km³. En México, el uso de aguas residuales tratadas para riego, durante 2021, representó 20.4%, y el de aguas no tratadas, 51.9% (tabla 1).

Tabla 1. Utilización directa de aguas residuales municipales tratadas y no tratadas para riego (2021)

Tratadas		Volumen	No tratadas		Volumen
País	km ³ / año		País	km ³ /año	
México	1.380		México	4.330	
China	1.260		India	1.230	
Arabia Saudita	0.535		Pakistán	1.022	
Emiratos Árabes Unidos	0.547		Iraq	1.030	
Siria	0.365		Siria	0.416	
Irán	0.328		Irán	0.244	
Egipto	0.290		Túnez	0.047	
Israel	0.279		Bolivia	0.016	
Kuwait	0.275		Marruecos	0.012	
Mundial	6.777		Mundial	8.346	

Fuente: Elaboración propia con datos de AQUASTAT (2022).

A nivel global, la superficie de riego que usó aguas residuales tratadas fue de 4 350.707 miles de ha y de 2 072.0 con aguas residuales sin tratamiento. China tuvo un rol importante con 83.2% de la superficie regada con aguas tratadas y 62.7% con aguas residuales sin tratar. México se situó en el segundo lugar en superficies regadas con aguas residuales no tratadas (tabla 2).

Tabla 2. Superficie de riego con aguas residuales municipales tratadas y no tratadas (2021)

Tratadas	Superficie	No tratadas	Superficie
País	miles de ha	País	miles de ha
China	3 618 000	China	1 300 000
Chile	130 000	México	387 600
México	96 726	Irán	240 000
Australia	73 993	Siria	40 000
Arabia Saudita	51 920	Pakistán	32 500
Kazajistán	46 260	Senegal	16 000
Paraguay	53 130	Perú	9 350
Israel	40 000	Turquía	9 160
Chipre	38 200	Marruecos	8 000
Egipto	35 500	India	7 500
Mundial	4 350 707	Mundial	2 072 075

Fuente: Elaboración propia con datos de AQUASTAT (2022).

Según la Food and Agriculture Organization (FAO, 2013), en China, el principal usuario de las aguas residuales es el sector agrícola, en especial, los grandes arrozales de las regiones semiáridas (Cao et al., 2021). La importancia de las aguas en la producción de arroz radica en la soberanía alimentaria de aquel país, debido a que es el cereal básico de su dieta. Por lo tanto, el Estado se propuso tratar el 85% de las aguas residuales y controlar la contaminación agrícola (Bo & Wen, 2022).

Arabia Saudita carece de ríos y fuentes superficiales permanentes y no cuenta con precipitaciones abundantes. Sin embargo, las aguas residuales satisfacen su demanda de agua limitada y contribuyen en la producción de alimentos que exige su creciente población (Dawoud et al., 2022); reduce la dependencia alimentaria de otros países y la extracción de aguas subterráneas fósiles (Hamed et al., 2024); las residuales se emplean, además, en la producción de forrajes (Ghanem et al., 2021) y palma datilera (Almutawa, 2022; Manikandan et al., 2025).

En Israel, las condiciones climáticas ponen en riesgo la seguridad hídrica y la soberanía alimentaria. Hoy, 70% del agua reciclada se emplea en la agricultura de riego (Chen et al., 2013; Ickson-Tal et al., 2003), pero, en 2040,

se podría convertir en la principal fuente de esa actividad (Haruy et al., 1999); el agua reciclada se emplea en cultivos de algodón, maíz, trigo y olivo o aceitunas (Myburgh et al., 2024; Pedrero et al., 2020; Quipuzco, 2004).

En México, las aguas residuales riegan cultivos forrajeros, granos e industriales (Silva et al., 2008). En el Valle del Mezquital se utilizan en más de 90 mil hectáreas, de las cuales 61% pertenece al DR 003 Tula; 32% al DR 100 Alfajayucan; y 7% al DR 112 Ajacuba. De 2010 a 2021, la superficie de riego se incrementó 9.3%, sobresale el crecimiento de 47.2% en superficie sembrada del DR 112, en el mismo periodo (tabla 3).

Tabla 3. Superficie regada con aguas residuales en el Valle del Mezquital, en miles de ha (2010-2021)

Año	DR 100	DR 112	DR 003	Valle del Mezquital
2010	27 566	4 653	52 894	85 113
2011	26 897	4 945	54 235	86 077
2012	28 633	6 271	55 785	90 689
2013	28 940	6 519	54 691	90 150
2014	29 384	6 580	54 812	90 776
2015	28 714	6 272	52 117	87 103
2016	29 370	6 493	52 597	88 460
2017	31 368	6 237	52 459	90 064
2018	30 624	5 771	55 598	91 993
2019	30 114	6 310	55 745	92 169
2020	30 161	6 091	53 859	90 111
2021	29 612	6 847	56 582	93 041

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

La producción agrícola en el Valle del Mezquital ronda los 5 millones de toneladas; de hecho, es una de las regiones productoras más importantes de forrajes, granos y hortalizas en México y en el Estado de Hidalgo.

En el DR 003 Tula, la producción en el ciclo otoño-invierno (O-I) fue, en mayor proporción, de avena forrajera (72.7%), seguida por cebada forrajera (14.5%) y coliflor (5.0%); en el ciclo primavera-verano (P-V), los principales cultivos fueron el maíz grano (87.8%) y la coliflor (4.7%); en el grupo de cultivos perennes, la alfalfa participó con 98.2% (CONAGUA, 2023).

En el DR 100 Alfajayucan, en el ciclo O-I, la producción más importante correspondió a la avena forrajera (49.0%) y a la coliflor (44.4%); en el ciclo P-V,

las mayores cifras se obtuvieron del maíz grano (64.3%) y la coliflor (28.2%); y la alfalfa aportó 99.0%, entre los cultivos perennes principales. En el DR 112 Ajacuba, en el ciclo O-I, las contribuciones más relevantes las dieron la avena forrajera (91.4%) y la cebada forrajera (5.4%); en el ciclo P-V, el maíz grano representó el 95.8%; y en los cultivos perennes, la alfalfa alcanzó 99.1% (CONAGUA, 2023).

En los tres distritos de riego también se producen otros cultivos en menor proporción, que representan menos de 3% de la producción del ciclo P-V, como la calabacita (calabacín), el chile, frijol (alubia) y el tomate de cáscara (tomatillo). Además, hay una restricción de cultivos debido a la calidad del agua, es decir, la superficie sembrada de hortalizas es muy pequeña en relación con los forrajes y granos.

Entre los beneficios del reúso de aguas residuales en la agricultura están la captura de nutrientes y el ahorro de fertilizantes, mayores rendimientos en los cultivos, disminución de la salinidad y suelos más saludables y en mejores condiciones (Lazaridou et al., 2019). También, ayuda a reducir la huella hídrica y la de carbón y, por ende, a paliar el cambio ambiental; permite economizar el uso de energía y el bombeo de agua dulce, así como el empleo de fertilizantes y la extracción de fertilizantes minerales (Hanjra et al., 2012).

La reducción de fertilizantes en la producción de los cultivos disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero y aumenta la captura de carbono; evita la sobreexplotación del acuífero (Resende et al., 2022) y la explotación de las fuentes superficiales, como ríos y presas, lo que contribuye al uso más sostenible de los recursos hídricos.

Conclusiones »»

Como se mostró, el uso de aguas residuales tiene enormes potenciales en agricultura: permite recuperar parte de las aguas contaminadas; enfrentar la escasez del agua de riego y mejorar la seguridad hídrica; reducir costos por el ahorro de fertilizantes, por el bombeo de agua dulce y de energía, porque las tarifas de aguas residuales son más bajas que las de agua dulce; contribuye a ralentizar cambio climático, porque reduce las huellas hídrica y de carbón; previene la extracción de fertilizantes minerales de las minas.

La irrigación con aguas residuales mejora las condiciones del suelo e incrementa el rendimiento en los cultivos, porque contienen mayor cantidad de nutrientes como potasio, nitrógeno y fósforo, lo que genera un mayor suministro de alimentos en el mercado local y regional y autosuficiencia en este rubro.

En regiones áridas y semiáridas, donde la producción agrícola es limitada, el aprovechamiento de aguas residuales eleva la productividad de los cultivos. Las variedades que se pueden sembrar son principalmente del grupo de los forrajes, industriales y frutales.

Referencias »»

- Almutawa, A. A. (2022). Date production in the Al-Hassa region, Saudi Arabia in the face of climate change. *Journal of Water and Climate Change*, 13(7), 2627-2647. <https://doi.org/10.2166/WCC.2022.461>
- AQUASTAT. (2022). *Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua y la agricultura*. <https://www.fao.org/aquastat/en/databases/main-database/>
- Aznar, J. A., Belmonte, L. J., Velasco, J. F., & Valera, D. L. (2021). Farmers' profiles and behaviours toward desalinated seawater for irrigation: Insights from South-east Spain. *Journal of Cleaner Production*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126568>
- Bdour, A. N., Hamdi, M. R., & Tarawneh, Z. (2009). Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. *Desalination*, 237(1-3), 162-174. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2007.12.030>
- Bo, Y., & Wen, W. (2022). Treatment and technology of domestic sewage for improvement of rural environment in China. *Journal of King Saud University - Science*, 34(7), 102181. <https://doi.org/10.1016/J.JK-SUS.2022.102181>
- Cao, C., Zhang, P., Ma, Z. P., Ma, Z. B., Wang, J. J., Tang, Y. Y., & Chen, H. (2021). Coupling sprinkler freshwater irrigation with vegetable species selection as a sustainable approach for agricultural production in farmlands with a history of 50-year wastewater irrigation. *Journal of Hazardous Materials*, 414, 125576. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.125576>
- Chen, Z., Ngo, H. H., & Guo, W. (2013). A critical review on the end uses of recycled water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43(14), 1446-1516. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.647788>
- CONAGUA. (2023). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- Contreras, J. D., Meza, R., Siebe, C., Rodríguez-Dozal, S., López-Vidal, Y. A., Castillo-Rojas, G., Amieva, R. I., Solano-Gálvez, S. G., Mazari-Hiriart, M., Silva-Magaña, M. A., Vázquez-Salvador, N., Rosas Pérez, I., Martínez Romero, L., Salinas Cortez, E., Riojas-Rodríguez, H., & Eisenberg, J. N. S.

- (2017). Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Research*, 123, 834-850. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.058>
- Dawoud, M. A., Ewea, H. A., & Alaswad, S. O. (2022). The future of wastewater treatment and reuse in Kingdom of Saudi Arabia. *Desalination and Water Treatment*, 263, 127-138. <https://doi.org/10.5004/DWT.2022.28217>
- De Anda, J., & Shear, H. (2021). Sustainable wastewater management to reduce freshwater contamination and water depletion in Mexico. *Water (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/w13162307>
- Fagundes, T. S., & Marques, R. C. (2023). Challenges of recycled water pricing. *Utilities Policy*, 82, 101569. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2023.101569>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. www.fao.org/publications
- Ghanem, A. M., Al-Ruwis, K. N., Alqahtani, S. H., Al-Nashwan, O. S., Al-Duwais, A. A. M., Alnafissa, M. A., Alhashem, J., Kamara, S. A., Alaa-gib, S. B., & Aldawdahi, N. M. (2021). The economic dimension of directing treated wastewater to the production of green fodder in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(8), 4825-4832. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.05.012>
- González, M. I. G., & Rubalcaba, S. C. (2011). Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. *Revista Cubana de Salud Pública*, 37(1), 61-73. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21417788007>
- Hamed, Y., Ayadi, Y., Khalil, R., Al-Omran, A., Lebdi, F., & Dhaouadi, L. (2024). Wastewater resources, agricultural practices management strategies, soil salinity predictions and artificial recharge in the Middle East-Saudi Arabia: A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(8), 569-584. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2024.08.003>
- Hanjra, M. A., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F., & Jackson, T. M. (2012). Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215(3), 255-269. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.10.003>
- Haruy, N., Offer, R., Hadas, A., & Ravina, I. (1999). Wastewater irrigation-economic concerns regarding beneficiary and hazardous effects of

- nutrients. *Water Resources Management*, 13(5), 303-314. <https://doi.org/10.1023/A:1008114225469>
- Icekson-Tal, N., Avraham, O., Sack, J., & Cikurel, H. (2003). Water reuse in Israel-the Dan Region Project: evaluation of water quality and reliability of plant's operation. *Water Supply*, 3(4), 231-237. <https://doi.org/10.2166/WS.2003.0067>
- Lazaridou, D., Michailidis, A., & Mattas, K. (2019). Evaluating the willingness to pay for using recycled water for irrigation. *Sustainability (Switzerland)*, 11(19), 1-8. <https://doi.org/10.3390/su11195220>
- Manikandan, S. K., Jenifer, A. D., Gowda, N. K., Nair, V., Al-Ruzouq, R., Gibril, M. B. A., Lamghari, F., Klironomos, J., Hmoudi, M. Al, Sheteiwy, M., & El-Keblawy, A. (2025). Advancing date palm cultivation in the Arabian Peninsula and beyond: Addressing stress tolerance, genetic diversity, and sustainable practices. *Agricultural Water Management*, 307, 109242. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2024.109242>
- Myburgh, S., Kosatica, E., Pfister, S., Kissinger, M., Fridman, D., & Koellner, T. (2024). An integrated biophysical-ecological assessment of embedded virtual water flows linked to Israel's consumption of agricultural crops. *Science of The Total Environment*, 955, 177195. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.177195>
- Narayanan, D., Bhat, M., Samuel Paul, N. R., Khatri, N., & Saroliya, A. (2024). Artificial intelligence driven advances in wastewater treatment: Evaluating techniques for sustainability and efficacy in global facilities. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100618. <https://doi.org/10.1016/J.DWT.2024.100618>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2024). *Saneamiento*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- Pedrero, F., Grattan, S. R., Ben-Gal, A., & Vivaldi, G. A. (2020). Opportunities for expanding the use of wastewaters for irrigation of olives. *Agricultural Water Management*, 241, 106333. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106333>
- Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P. G., Drechsel, P., Bahri, A., & Minhas, P. S. (2010). The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management*, 97(4), 561-568. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2008.11.004>
- Quipezco, L. E. (2004). Valoración de las aguas residuales en Israel como un recurso agrícola: consideraciones a tomar en cuenta para la gestión del

agua en el Perú. *Revista Del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7(13), 64-72. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n13/pdf/a09.pdf

Resende, M., Freitas, F. C., Anibal, B., Martins, J., Duarte, A., Urban, A., Moreira Da Silva, M., (2022). Urban Wastewater Reuse for Citrus Irrigation in Algarve, Portugal-Environmental Benefits and Carbon Fluxes. *Sustainability*, 14(17), 10715. <https://doi.org/10.3390/SU141710715>

Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314732020>

Tarhule, A. (2016). The Future of Water: Prospects and Challenges for Water Management in the 21st Century. In *Competition for Water Resources: Experiences and Management Approaches in the US and Europe* (pp. 442-454). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803237-4.00025-2>

Ting, W. H. T., Tan, I. A. W., Salleh, S. F., Abdul Wahab, N., Atan, M. F., Abdul Raman, A. A., Kong, S. L., & Lam, L. S. (2024). Sustainable saline wastewater treatment using eutectic freeze crystallization: Recent advances, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112919. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.112919>

World Water Assessment Programme (WWAP). (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado* (202 pp.). Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>

Nota de los autores:

Jonathan Hernández Pérez
Dr. en Ciencias en Economía Agrícola
Universidad Autónoma Chapingo
jonahdezp@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8892-8115>

Thalía Ximena Tapia García
Dra. en Ciencias Agrarias
Universidad Autónoma Chapingo
tapia.ga28@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8633-4882>