

Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura

Sarai Shesareli Mendoza-Retana¹
María Gabriela Cervantes-Vázquez²
Ana Alejandra Valenzuela-García²
Tania Lizzeth Guzmán-Silos²
Ignacio Orona-Castillo²
Tomás Juan Álvaro Cervantes-Vázquez^{2§}

¹Universidad Politécnica de la Región Laguna. Calle sin nombre s/n, Ejido Santa Teresa, San Pedro de las Colonias, Coahuila. (s.mendoza@ujed.mx). ²División de Estudios de Posgrado-Facultad de Agricultura y Zootecnia-Universidad Juárez del Estado de Durango. Venecia, Gómez Palacio, Durango. CP. 35110. (cevga@hotmail.com; ale.valenzuela@ujed.mx; tanializguzman@hotmail.com; orokaz@yahoo.com).

§Autor para correspondencia: alvaro87tomas@hotmail.com.

Resumen

La contaminación del agua, aire, suelo y alimentos es una consecuencia colateral de las actividades que el hombre ha desarrollado para vivir y mejorar su calidad de vida. El desarrollo del ser humano, su crecimiento continuo desde la época de la revolución industrial ha dejado daños y degradación en los recursos naturales. En su crecimiento demográfico, científico y tecnológico el ser humano no ha realizado los esfuerzos suficientes para preservar sustentablemente los recursos naturales. Dentro de tales recursos, el agua es uno de los primordiales y vital para todas las formas de vida, pero cada día está más escaso el recurso en forma saludable. Debido a múltiples factores asociados al crecimiento demográfico, la urbanización y la industrialización, todas igualmente causas directas e indirectas del cambio climático. El tratamiento y uso de aguas residuales constituye un reto, porque con frecuencia esa es la única opción con la que cuentan los agricultores. Así, estas aguas representan un recurso valioso, tanto desde el punto de vista económico como ambiental (conservación de recursos hídricos, reciclaje de nutrientes). En la actualidad, cerca de 80% de las aguas residuales son dispuestas sin tratamiento son usadas para riego agrícola, representando un problema sanitario significativo (por la presencia de elementos patógenos y tóxicos).

Palabras claves: agua residual, aprovechamiento en agricultura, riesgos, tratamientos.

Recibido: enero de 2021

Aceptado: febrero de 2021

La utilización de las aguas residuales en la agricultura debe involucrar más el agua residual ‘tratada’. Sin embargo, aún existen muchas regiones del mundo e incluso de México que utilizan aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento. Ello puede tener consecuencias negativas en degradación y contaminación en el mediano y largo plazo de los suelos donde se utiliza (Petousi *et al.*, 2019). Desafortunadamente, para muchos agricultores de zonas marginadas en el único recurso hídrico del que pueden disponer (Woldetsadik *et al.*, 2018). Lamentablemente, también es cierto que existen muy pocos países en el mundo en donde se tengan registros fehacientes y actualizados de los volúmenes y superficies regadas con las aguas residuales. Eso dificulta la posibilidad de hacer mejoras en el uso potencial de este tipo de agua.

Satisfacer las necesidades en general del ser humano cada vez es más complejo debido a la falta de equilibrio en nuestro ecosistema. En la actualidad la humanidad en forma global está atravesando por una serie de crisis que se agravan por el desmesurado incremento de la población humana desde la época de la Revolución Industrial (Fang y Jawitz, 2019). La cantidad de habitantes del mundo y la necesidad de satisfacer todos y cada uno de sus requerimientos hacen cada vez más difícil lograr un uso de recursos naturales en forma saludable y sostenible. Las crisis actuales son de tipo médico, industrial, en materia económica y en gran medida lo que se refiere al cambio climático (Ossebaard y Lachman, 2020). Estas crisis ocupan dimensiones donde se entrelazan causas y efectos. Sin embargo, este documento se enfoca en reflexionar acerca del recurso agua.

El principal uso del agua a nivel mundial es en la agricultura (Boretti y Rosa, 2019). El agua de alta calidad es cada vez más escasa (Vasilyev y Domashenko, 2018). Por ende, los recursos hídricos deben ser utilizados sustentablemente y una de las propuestas para lograrlo han sido las aguas residuales (Jaramillo y Restrepo, 2017). La disponibilidad de recursos hídricos y la forma en que se utilizan son fundamentales para mejorar la seguridad alimentaria en todo el mundo considerándolo el recurso máspreciado y el más disputado (Larsen *et al.*, 2016). A nivel mundial, se ha estimado que las reservas de agua dulce son de aproximadamente 35 000 000 km³ (Gleick y Palaniappan, 2010). La UNESCO (2016) menciona que exclusivamente de los recursos de las aguas subterráneas se permite satisfacer las necesidades básicas diarias de agua a 2 500 millones de personas y representa 43% de toda el agua utilizada para el riego.

El uso del agua ha ido aumentando en todo el mundo aproximadamente 1% por año desde la década de 1980 (Junguo *et al.*, 2016). El aumento constante se ha debido principalmente a la creciente demanda en los países en desarrollo y en las economías emergentes (aunque el uso del agua per cápita en la mayoría de estos países sigue estando por debajo del uso del agua en los países desarrollados, simplemente los están alcanzando).

Este crecimiento es impulsado por una combinación de crecimiento poblacional, desarrollo socioeconómico y patrones de consumo en evolución (Sun *et al.*, 2016). 80 millones de personas al año implica una demanda de agua dulce de aproximadamente 64 mil millones de metros cúbicos anuales. La mayor parte del crecimiento poblacional ocurrirá en países en desarrollo, principalmente en regiones con estrés hídrico y en áreas con acceso limitado a agua potable segura y a servicios sanitarios adecuados (Huang *et al.*, 2016) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución del agua, de la población y de las principales cuencas fluviales en el mundo adaptado (UNESCO, 2016).

Continente		Distribución	Cuencas fluviales
Norte América	15%	Cuencas fluviales	Yukon Mackenzie Nelson
	8%	Consumo humano	Misisipi St. Lawrence
Sudamérica	26%	Cuencas fluviales	Amazonas
	6%	Consumo humano	Plata
África	11%	Cuencas fluviales	Niger Lago Chad Congo
	13%	Consumo humano	Nilo Zambesi Orange
Europa	8%	Cuencas fluviales	Volga
	13%	Consumo humano	Danubio
Asia	36%	Cuencas fluviales	Ob Yenisei Lena Kolyma Amur
	60%	Consumo humano	Ganges y Brahmaputra Yangze Huan He Indus
Oceanía	5%	Cuencas fluviales	Eufrates y Tigris Murray Darling
	<1%	Consumo humano	

A nivel mundial, la tasa de agotamiento de las aguas subterráneas se ha duplicado y para 2050, se estima que la demanda global de agua continúe aumentando de 20 a 30% por encima del nivel actual. Por ello, 40% de la población mundial vivirá bajo el estrés hídrico severo (Burek *et al.*, 2016; Kölbel *et al.*, 2018), incluyendo casi toda la población de Oriente Medio y el sur de Asia y partes significativas del norte de África y China. Los niveles de escasez hídrica seguirán aumentando a medida que crezca la demanda de agua y se intensifiquen los efectos del cambio climático (Khalid *et al.*, 2018).

Actualmente, 20% de los acuíferos mundiales está siendo sobreexplotado y es evidente su disminución en disponibilidad y calidad (Carrard *et al.*, 2019), muestra de ello es la cuenca del Río Amarillo en China (Yin *et al.*, 2017) y el Pacífico noroeste de los Estados Unidos de América (Jager *et al.*, 2019). Tales disminuciones repercuten la disponibilidad del agua para la extracción de agua de los agricultores, la industria y los suministros domésticos, así como para los usos de la corriente, como la generación de energía, navegación, pesca, recreacionales y por último, pero no menos importante, el medio ambiente (Jago-on *et al.*, 2017).

Es importante destacar, que la sobre explotación de los recursos de agua dulce se ha derivado en gran medida al crecimiento de la demanda agrícola (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura). La agricultura es el mayor consumidor de agua, dado que representa 70% de las extracciones anuales de agua a nivel mundial principalmente para la producción de alimento, fibras y para el procesado de productos agrícolas (Weinzettel y Pfister, 2019). Por otro lado, la industria (incluyendo la generación de energía) explica 19% y los hogares 12% (Bijl *et al.*, 2016) Por lo tanto, es probable que la porción de la agricultura en el uso total de agua disminuya en comparación con otros sectores, pero seguirá siendo el mayor usuario en general en las próximas décadas.

Con el aumento de la agricultura intensiva y enfatizando que es uno de los mayores usuarios de agua a nivel mundial, es fundamental encontrar soluciones sostenibles. Por lo tanto, el crecimiento de las actividades mundiales de seguimiento hidrológico y recopilación de datos sigue siendo un desafío importante. Además de fortalecer las redes de monitoreo globales. Esto puede requerir explorar el potencial de las nuevas tecnologías (Tauro *et al.*, 2018).

Al respecto, la reutilización en agricultura de las aguas residuales tratadas es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua (Jaramillo y Restrepo, 2017). Hanseok *et al.* (2016). sugieren que más de 10% de la población mundial consume productos agrícolas cultivados por riego con aguas residuales.

Las aguas residuales pueden ser una fuente de materias primas como nutrientes o ciertos metales (es decir, aguas residuales industriales). Además, contribuyen a reducir la energía necesaria en la extracción de estas materias primas para su uso como fertilizantes (Wang *et al.*, 2018). La combinación de una demanda de agua creciente, especialmente en agricultura y una disponibilidad de agua limpia cada vez menor está impulsando un uso cada vez mayor de fuentes de aguas no convencionales, como los efluentes urbanos.

El uso de estos efluentes en la agricultura puede ser planificado, con aguas tratadas y con hábitos de riego seguros. Ello debería ser con cuidados y conocimiento, ya que puede ser una práctica peligrosa para los agricultores y los consumidores cuando se usa sin tratar de una forma directa (sin diluir) o indirecta (aguas residuales diluidas) (Mateo-Sagasta *et al.*, 2015).

Producción, tratamiento y reutilización de aguas residuales

Anualmente se producen 380 000 millones de m³ (380 billones de litros) de aguas residuales en todo el mundo, estimaciones sugieren que se espera que la producción de agua residual a nivel mundial alcance los 470 000 millones de m³ al final de 2030, lo que representa un aumento de 24% sobre la producción actual de aguas residuales y en 2050 alcanzará los 574 billones de m³, 51% más que el nivel actual (Qadir *et al.*, 2020)

Hoy en día se han creado más de 3 300 instalaciones de regeneración de agua nivel mundial, en Japón (cerca de 1 800) y los Estados Unidos de América (cerca de 800). Australia y la Unión Europea cuentan con 450 y 230 proyectos respectivamente. La zona mediterránea y el Medio Oriente tienen alrededor de 100 plantas, América Latina 50 y el África subsahariana 20, con diversos grados de tratamiento y para diversas aplicaciones. Entre tales aplicaciones se encuentran: riego agrícola, diseño urbano, usos recreativos, procesamiento y refrigeración industrial, producción indirecta de agua potable y como recarga de las aguas subterráneas (Cuadro 2) (Intriago *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Sistemas de reutilización de aguas municipales, por campo de aplicación.

Categorías de uso	Usos
Urbanos	Riego de parques públicos, instalaciones deportivas, jardines privados, bordes de carreteras; limpieza de calles; sistemas de protección contra incendios; lavado de vehículos; descarga del inodoro; acondicionadores de aire; control de polvo.
Agrícola	Cultivos alimentarios no procesados comercialmente; cultivos alimentarios procesados comercialmente; pastos para animales de ordeño; forraje; usa fibra; cultivos de semillas; flores ornamentales; huertos; cultivo hidropónico; acuicultura; invernaderos; viticultura.
Industrial	Procesamiento de agua; agua de enfriamiento; torres de enfriamiento de recirculación; agua de lavado; agregado de lavado; fabricación de hormigón; suelo compactación control de polvo.
Recreativo	Riego de campos de golf; embalses recreativos con o sin acceso público (por ejemplo, pesca, paseos en bote, baño); embalses estéticos sin acceso público; hacer nieve.
Ambiental	Recarga de acuíferos; humedales; marismas; aumento de corriente; hábitat de vida silvestre; silvicultura.
Potable	Recarga de acuíferos para uso de agua potable; aumento de los suministros de agua potable de superficie; tratamiento hasta la calidad del agua potable.

Una gama diversa de factores tanto económicos, institucionales, ecológicos, tecnológicos y sociológicos impulsan la reutilización de aguas en los países desarrollados y en los países en desarrollo (Nadja *et al.*, 2016). A pesar de eso, existen problemas comunes como el aumento de la población y la demanda de alimentos, escasez de agua y preocupación de la contaminación ambiental. Estos factores hacen que el agua regenerada sea un recurso potencialmente valioso.

Un ejemplo claro es China, país que afronta una presión cada vez mayor sobre el suministro de agua dulce. Se encuentra entre los 13 países con menor disponibilidad de agua en el mundo y la disponibilidad de agua per cápita de China es aproximadamente una cuarta parte del promedio mundial (Lyu *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2017). La mayor parte del agua disponible se concentra en el sur, dejando el norte y el oeste de China para experimentar sequías perpetuas. Con crecimiento demográfico, industrialización acelerada y urbanización y cambio climático global, la crisis hídrica en China se agrava y dicha escasez se ha convertido en un importante obstáculo que restringe el desarrollo económico de China (Zhang *et al.*, 2020).

El desarrollo del uso de aguas residuales en China comenzó a utilizar aguas residuales municipales para regar tierras agrícolas en la década de 1940 considerándola la etapa emergente en donde la calidad del agua era mala y este periodo abarca hasta 1985 (Zhang *et al.*, 2020). Sin embargo, actualmente China tiene planes ambiciosos para promover la reutilización de aguas residuales y hacer que el agua recuperada se convierta en un elemento clave de esquema de gestión de recursos hídricos a nivel nacional (Lyu *et al.*, 2016). Como el país en desarrollo más grande del mundo, cada año se descargan masivamente aguas residuales con el fin de para satisfacer las necesidades de la vida y el desarrollo económico en China. Por ejemplo, en 2015 se trataron 73 530 mil millones de toneladas de aguas residuales (Zhang y Ma *et al.*, 2020).

En Europa, la mayoría de los sistemas de reutilización se ubican en las áreas costeras e islas de las regiones mediterráneas semiáridas y en áreas altamente urbanizadas (Parisi *et al.*, 2018). La escasez de agua es un problema común en la región mediterránea que cuenta con precipitaciones variadas, a veces por debajo los 400 hm al año en las partes del sur de España, Italia, Grecia, Malta e Israel. Algunas veces, los recursos hídricos pueden llegar a un nivel de escasez de agua crónico de 1 000 m³ por habitante al año.

Las grandes distancias entre los recursos hídricos y los usuarios también producen déficits graves a nivel regional y local y la escasez de agua se empeora con la llegada de turistas en temporada alta en verano hacia las costas mediterráneas, así como también con el crecimiento demográfico, la sequía y los posibles efectos relacionados con el cambio climático (Burak y Margat, 2016).

La Unión Europea incluyó el agua regenerada como parte de la economía circular considerándola un recurso hídrico alternativo para combatir la sequía y la escasez de agua. Sin embargo, la piedra angular en la implementación de agua regenerada para riego es el desarrollo del ‘reglamento EU-2020/741 requisitos mínimos para la reutilización del agua residual’ (Mesa y Berbel, 2020).

Si bien el agua regenerada es una parte relativamente pequeña del suministro de agua total, en algunos países tiene un papel importante, especialmente para la agricultura. Como por ejemplo en Kuwait, donde el agua reutilizada representa hasta 35% del total de extracción de agua (Saeed *et al.*, 2017). Naciones Unidas ha estimado que en agricultura al menos 20 millones de hectáreas de tierra de cultivo en 50 países son regadas con aguas residuales sin tratar o tratadas parcialmente, lo que representa alrededor de 10% del total de las tierras de regadío (Thebo *et al.*, 2017).

En América Latina y el Caribe la agricultura es el mayor usuario de agua (Miralles y Muñoz, 2018). De acuerdo con Mahlknecht *et al.* (2020). Se estima que, a nivel regional, 73% de la extracción del agua se atribuye a la agricultura, del total de superficie irrigada en América Latina y el Caribe, se estima que aproximadamente 10% se encuentra dentro de los espacios urbanos, más de 30% en un perímetro de 10 km alrededor de las ciudades y casi 50% en un radio de 20 km.

Además, las producciones irrigadas cerca de las ciudades son más intensivas, con más rotación de cultivos por año. Aunque la producción de aguas residuales municipales no siempre se monitoriza y publica de manera regular (Hernández *et al.*, 2017). Se estima que al menos 30 km³ son generados cada año. Esta es una cifra conservadora ya que algunos datos no están actualizados y falta información para algunos países con un tamaño de población relevante como Honduras o Haití. Como es de esperar por el tamaño de sus poblaciones, Brasil y México juntos ya producen más de la mitad del agua residual generada en América Latina y el Caribe (Machado *et al.*, 2016).

Potencial de la utilización de aguas residuales en la agricultura

La demanda mundial de agua para uso agrícola aumenta continuamente como resultado del crecimiento de la población y prosperidad humana. La competencia por los recursos hídricos de alta calidad es particularmente feroz en regiones áridas y semiáridas con escasez de agua, donde el riego es esencial para la expansión y el éxito de la agricultura. La necesidad de tratar y eliminar mayores cantidades de aguas residuales, la mayor demanda de agua de riego, por otro lado, indica la importancia de un uso eficaz y sostenible de los residuos recuperados agua (Grant *et al.*, 2012).

En general, las aguas residuales contienen cantidades sustanciales de nutrientes beneficiosos como N, P y K que pueden promover el crecimiento y el rendimiento de las plantas y reducir la demanda de fertilizantes químicos (Jung *et al.*, 2014). Además de contener importantes micronutrientes como Fe y Zn (Pereira *et al.*, 2012). Por lo tanto, El uso cuidadoso de aguas residuales puede reducir la aplicación de fertilizantes y por lo tanto costos ambientales y económicos, además de disminuir el contenido de elementos tóxicos como metales pesados, que causan problemas para la producción agrícola (Raveh y Ben-Gal, 2016; Turlej y Banás, 2018).

El contenido de estos metales en el agua de riego puede tener como consecuencia, la degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo (Assouline *et al.*, 2015). La acumulación excesiva de metales pesados en suelos agrícolas a través del riego de aguas residuales no solo puede resultar en contaminación del suelo, también conduce a una elevada absorción de metales pesados en los cultivos, y por lo tanto, afectan la calidad y seguridad de los alimentos (Muchuweti *et al.*, 2006).

Por otra parte, el uso de aguas residuales dependiendo del nivel de su tratamiento, puede transportar patógenos (virus, bacterias y protozoos) y presentan un riesgo para la salud cuando se aplican incorrectamente en la agricultura (Chahal *et al.*, 2016). Okereke *et al.* (2016) evaluaron la calidad de los efluentes de una instalación de tratamiento de aguas residuales urbanas en el occidente de África y encontraron su posible impacto negativo en la salud pública debido a una serie de parámetros de calidad del agua, tales como la turbidez, oxígeno disuelto y densidad de contaminantes microbianos que se consideran factores críticos que contribuyen a numerosos brotes de enfermedades transmitidas por el agua.

En otras regiones, se han realizado investigaciones similares que han demostrado el impacto del riego con agua residual para la salud. Un estudio interesante es el efectuado por Ajibade y Ifeanyin (2017) en los suburbios en el este de cabo Sudáfrica, donde se detectó una alta contaminación de los vegetales por *E. coli*, *Shigella*, *Salmonella* y *Vibrio* spp. los cuales han sido los patógenos predominantes relacionados con el agua, mientras que se ha informado que ciertas cepas clonales de estos patógenos puede sobrevivir a los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales relacionados funcionamiento ineficientes, diseño deficiente, falta de experiencia, monitoreo ineficiente y documentación deficiente del cumplimiento de los procesos en instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Una investigación realizada en Dinapur, ciudad tropical de la India, demostró la elevada contaminación microbiológica que tienen los vegetales, debido al riego con agua residual parcialmente tratada y el riesgo potencial que derivaba esto para la salud de los consumidores (Khalid *et al.*, 2018). Dickin *et al.* (2016), estudiaron las implicaciones a la salud debido a la reutilización de aguas residuales en el riego de verduras, encontrando que si hay riesgos apreciables para la salud (Cuadro 3).

Cuadro 3. Riesgos químicos y biológicos asociados con el uso de aguas residuales sin tratar en la agricultura (Jaramillo and Restrepo, 2017).

Tipo de riesgo		Patógeno
Biológico	Bacterias	<i>E. coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp.
	Helmintos	Ascaris, Ancylostoma, <i>Tenia</i> spp.
	Protozoos	Intestinal Giardia, <i>Cryptosporidium</i> , <i>Entamoeba</i> spp.
	Virus	Hepatitis A y E, Adenovirus, Rotavirus, Norovirus
	Schistosoma	Flukes de sangre
Químico	Sustancia de interés sanitario	
	Metales pesados	Arsénico, cadmio, mercurio
	Hidrocarburos	Dioxinas, Furanos, PCB
	Plaguicidas	Aldrin, DDT

Estudios recientes han identificado a las plantas tratadoras de aguas residuales como fuentes potenciales de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero tales como: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), los cuales contribuyen al cambio climático y la contaminación del aire (Soler *et al.*, 2016). A nivel mundial la mayoría de los países en desarrollo enfocan esfuerzos para mejorar el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y obtener un efluente de buena calidad; sin embargo, actualmente se han generado nuevos retos orientados a asegurar la sostenibilidad de las aguas residuales en cuanto a su viabilidad económica e impacto ambiental (Campos *et al.*, 2016).

Conclusiones

La investigación científica, el desarrollo y la innovación son esenciales para aprovechar las aguas residuales como recurso valioso para la producción agrícola. Las soluciones técnicas dirigidas a mejorar el uso de agua regenerada, puede coadyuvar a mitigar los efectos negativos de la escasez del agua a nivel mundial y mejorar la calidad de vida para todos y en particular para los grupos en situaciones vulnerables y desfavorecidas, requieren mayor desarrollo.

La recopilación de datos y documentación puede generar nuevos conocimientos que ayuden a comprender mejor el uso productivo de las aguas residuales en la agricultura, alternativa válida siempre y cuando se evalúen sus riesgos y se tomen las medidas necesarias de protección para la salud y el ambiente.

Literatura citada

- Ajibade, A. M. and Ifeanyin, O. A. 2017. Ecological and public health implications of the discharge of multidrug-resistant bacteria and physicochemical contaminants from treated wastewater effluents in the Eastern Cape, South Africa. *Rev. Water*. 9(8):562-580. <https://doi.org/10.3390/w9080562>.
- Assouline, S.; Russo, D. and Silber, A. 2015. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture. *Water Resour. Res.* 51(5):3419-3436.

- Bijl, L. D.; Bogaart, P. W.; Kram, T.; Vries, J. M. B. and Vuuren, P. D. 2016. Long-term water demand for electricity, industry and households. *Environ. Sci. Policy*. 55(2016):75-86.
- Boretti, A. and Rosa, L. 2019. Reassessing the projections of the World Water Development Report. *Clean Water*. 15(2):1-6. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>.
- Burak, S. and Margat, J. 2016. Water management in the Mediterranean Region: concepts and policies. *Water Resour. Manage.* 30(15):5779-5797. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1389-4>.
- Burek, P.; Satoh, Y.; Fischer, G.; Kahil, M. T.; Scherzer, A.; Tramberend, S.; Nava, L. F.; Wada, Y.; Eisner, S.; Flörke, M.; Hanasaki, N.; Magnuszewski, P.; Cosgrove, B. and Wiberg, D. 2016. Water futures and solution: fast track initiative (Final Report). IIASA Working Paper. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). 23-26 pp.
- Campos, J. L.; Valenzuela, H. D.; Pedrouso, A.; Val del Río, A.; Belmonte, M. and Mosquera, C. A. 2016. Greenhouse gases emissions from wastewater treatment plants: minimization, treatment, and prevention. *J. Chem.* 1(9):1-12.
- Carrard, N.; Foster, T. and Willetts, J. 2019. groundwater as a source of drinking water in southeast Asia and the Pacific: A multi-country review of current reliance and resource concerns. *Water*. 11(8):1605-1625. <https://doi.org/10.3390/w11081605>.
- Chahal, C.; Van den, A. B.; Young, X. F.; Franco, C.; Blackbeard, J. and Mon, P. 2016. Pathogen and particle associations in wastewater: significance and implications for treatment and disinfection processes. *Adv. Appl. Microbiol.* 97(1):64-110.
- Dickin, S. K.; Corinne, J.; Schuster, W.; Manzoor, Q. and Katherine, P. 2016. A review of health risks and pathways for exposure to wastewater use in agriculture. *Environ. Health Perspectives*. 124(7):900-909.
- Fang, Y. and Jawitz, J. W. 2019. The evolution of human population distance to water in the USA from 1790 to 2010. *Nature Communications*. 10(430):1-8. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08366-z>.
- Gleick, P. H. and Palaniappan, M. 2010. Peak water limits to freshwater withdrawal and use. *Journal Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 107(25):11155-11162.
- Grant S. B.; Saphores, J.; Feldman, D.; Hamilton, D. L.; Fletcher, A. J.; Cook, T. D.; Stewardson, P. L. M.; Sanders, B. F.; Levin, L. A. and Ambrose, R. F. 2012. Taking the ‘waste’ out of ‘wastewater’ for human water security and ecosystem sustainability. *Science*. 337(6095):681-686.
- Hanseok, J.; Hakkwan, K. and Taeil, J. 2016. Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: a contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. *Water*. 8(5):169-187. <https://doi.org/10.3390/w8040169>.
- Hernández, P. F.; Margni, M.; Noyola, A.; Guereca, H. L. and Bulle C. 2017. Assessing wastewater treatment in Latin America and the Caribbean: enhancing life cycle assessment interpretation by regionalization and impact assessment sensibility. *J. Cleaner Production*. 142(4):2140-2153.
- Huang, J.; Yu, H.; Guan, X.; Wang, G. and Guo, R. 2016. Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*. 6(2):166-171.
- Intriago, J. C.; Lopez, G. F.; Allende, A.; Vivaldi, G. A.; Camposeo, S.; Nicol, E. N.; Alarcon, J. J. and Salcedo F. P. 2018. Agricultural reuse of municipal wastewater through an integral water reclamation management. *J. Environ. Manag.* 213(1):135-141.

- Jager, I. H.; Efroymsen, A. R. and Baskaran, M. L. 2019. Avoiding conflicts between future freshwater algae production and water scarcity in the United States at the energy-water nexus. *Water*. 11(4):836-856. <https://doi.org/10.3390/w11040836>.
- Jago-on, B. K.; Siringan, P. F.; Balangue, T. R.; Taniguchi, M.; Reyes, Y. K.; Lloren, R.; Peña, M. A. and Bagalihog, E. 2017. Hot spring resort development in Laguna Province, Philippines: Challenges in water use regulation. *J. Hydrology: Regional Studies*. 11(1):96-106.
- Jaramillo, M. F. and Restrepo, I. 2017. Wastewater reuse in agriculture: a review about its limitations and benefits. *Sustainability*. 9(2):1734-1753. <https://doi.org/10.3390/su9101734>.
- Jung, K.; Jang, T.; Jeong, H. and Park, S. 2014. Assessment of growth and yield components of rice irrigated with reclaimed wastewater. *Agric. Water Manag.* 138(1):17-25.
- Junguo, L.; Hong, Y.; Simon, N. G.; Matti, K.; Martina, F.; Stephan, P.; Naota, H.; Yoshihide, W.; Xinxin, Z.; Chunmiao, Z.; Alcamo, J. and Taikan, O. 2016. Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*. 5(6):545-559. <https://doi.org/10.1002/2016EF000518>.
- Khalid, S.; Shahid, M.; Irshad, N. B.; Sarwar, T.; Haidar, A. S. and Khan, N. N. 2018. A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. *Inter. J. Environ. Res. Public Health*. 15(5):895-910. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050895>.
- Kölbel, J.; Strong, C.; Noe, C. and Reig, P. 2018. Mapping public water management by Harmonizing and sharing corporate water risk information. *Nota Técnica*. Instituto Mundial de Investigación (WRI). 20 p. www.wri.org/publication/mapping-public-water.
- Larsen, T. A.; Hoffmann, S.; Luthi, C.; Truffer, B. and Maurer, M. 2016. Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science*. 352(6288):928-933.
- Lyu, S.; Chen, W.; Zhang, W.; Fan, Y. and Jiao, W. 2016. Wastewater reclamation and reuse in China: opportunities and challenges. *J. Environ. Sci.* 23(10):1585-1593.
- Machado, A. I.; Beretta, M.; Fragoso, R. and Duarte, E. 2016. Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil. *J. Environ. Management*. 187(1):560-570. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.015>.
- Mahlknecht, J.; Gonzalez, B. R. and 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>.
- Mateo-Sagasta, J.; Raschid-Sally, L. and Thebo, A. 2015. global wastewater and sludge production, treatment and use en drechsel. (Eds). *Wastewater: economic asset in an urbanizing world*. wastewater. Amsterdam. 3-14 pp. Doi: 10.1007/978-94-017-9545-6.2.
- Mesa, P. E. and Berbel, J. 2020. Analysis of barriers and opportunities for reclaimed wastewater use for agriculture in Europe. *Water*. 12(8):1-14. <https://doi.org/10.3390/w12082308>.
- Miralles, W. F. and 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. *Inter. J. Eng. Sci.* 7(1):8-24.
- Muchuweti, M.; Birkett, J. W.; Chinyanga, E.; Zvauya, R.; Scrimshaw, M. D. and Lester, J. N. 2006. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixture of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. *Agric. Ecosys. Environ.* 112(1):41-48.
- Nadja, C.; Kunz, M. F.; Ingold, K. and Hering, J. G. 2016. Drivers for and against municipal wastewater recycling: a review. *Water Sci. Technol.* 73(2):251-259. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.496>.

- Okereke, J. N.; Ogidi, I. and Obasi, K. O. 2016. Environmental and health impact of industrial wastewater effluents in Nigeria - A review. *Inter. J. Adv. Res. Biol. Sci.* 3(6):55-67.
- Ossebaard, H. C. and Lachman, P. 2020. Climate change, environmental sustainability and health care quality. *Inter. J. Quality in Health Care.* 00(00):1-3. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzaa036>.
- Parisi, A.; Monno, V. and Fidelibus, M. D. 2018. Cascading vulnerability scenarios in the management of groundwater depletion and salinization in semi-arid areas. *Inter. J. Disaster Risk Reduction.* 30(1):292-305. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.004>.
- Pereira, B.; He Z.; Stoffella, P. J.; Montes, C. R.; Melfi, A. J. and Baligar, V. C. 2012. Nutrients and nonessential elements in soil after 11 years of wastewater irrigation. *J. Environ. Quality.* 41(3):920-927.
- Petousi, G.; Daskalakis, M. S.; Fountoulakis, D.; Lydakis, L.; Fletcher, E. I.; Stentiford, T. and Manios, T. 2019. Effects of treated wastewater irrigation on the establishment of young grapevines. *Sci. Total Env.* 658(1):485-492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.065>.
- Qadir, M.; Drechse, P.; Jiménez, C. B.; Younggy, K.; Pramanik, A.; Mehta, P. and Olaniyan, O. 2020. Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Res. Forum.* 44(12):40-51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>.
- Raveh, E. and Ben-Gal, A. 2016. Irrigation with water containing salts: evidence from a macro-data national case study in Israel. *Agric. Water Manag.* 170(3):176-179.
- Saeed, T.; Al-Jandal, N.; Abusam, A.; Taqi, H.; Al-Khabbaz, A. and Zafar, J. 2017. Sources and levels of endocrine disrupting compounds (EDCs) in Kuwait's coastal areas. *Marine Pollution Bulletin.* 118(2):407-412.
- Soler, J. A.; Stevens, B. and Hoekstra, M. 2016. Importance of abiotic hydroxylamine conversion on nitrous oxide emissions during nitrification of reject water. *Chem. Eng. J.* 287(1):720-726.
- Sun, S.; Wanga, Y.; Liu, J.; Cai, H.; Wub, P.; Geng, Q. and Xu, L. 2016. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *J. Hydrol.* 532(1):140-148.
- Tauro, F.; Selker, J.; Van de Giesen, N.; Abrate, T.; Uijlenhoet, R.; Porfiri, M.; Manfreda, S.; Caylor, K.; Moramarco, T.; Benveniste, J.; Ciraolo, G.; Estes, L.; Domeneghetti, A.; Perks, M. T.; Corbari, C.; Rabiei, E.; Ravazzani, G.; Bogena, H.; Harfouche, A.; Brocca, L.; Maltese, A.; Wickert, A.; Tarpanelli, A.; Good, S.; Lopez-Alcala, J. M.; Petroselli, A.; Cudennec, C.; Blume, T.; Hut, R. and Grimaldi, S. 2018. Measurements y observations in the XXI century (MOXXI): Innovation and multi-disciplinarity to sense the hydrological cycle. *Rev. Cienc. Hidrológicas.* 63(2):169-196. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1420191>.
- Thebo, A. L.; Drechsel, P.; Lambin, E. F. and Nelson, K. L. 2017. A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environmental Research Letters.* 12(7):1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa75d1>.
- Turlej, T. and Banaś, M. 2018. Sustainable management of sewage sludge. *E3S Web of Conferences.* 49(8):1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184900120>.
- UNESCO. 2016. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: agua y empleo. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/>.
- Vasilyev, S. and Domashenko, Y. 2018. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land. *J. Ecol. Eng.* 19(1):48-54. <https://doi.org/10.12911/22998993/79567>.

- Wang, X. J.; Zhang, J. Y.; Gao, J.; Shahid, S.; Xia, X. H.; Geng, Z. and Tang, L. 2017. The new concept of water resources management in China: ensuring water security in changing environment. *Environ. Develop. Sustainability*. 20(4):897-909. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9918-8>.
- Wang, X.; Daigger, G.; Lee, D. J.; Liu, J.; Ren, N. Q.; Qu, J.; Liu, G. and Butler, D. 2018a. Evolving wastewater infrastructure paradigm to enhance harmony with nature. *J. Sci. Adv.* 4(8):1-10.
- Weinzettel, J. and Pfister, S. 2019. International trade of global scarce water use in agriculture: Modeling on watershed level with monthly resolution. *Ecol. Econ.* 159(3):301-311. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000325571>.
- Woldetsadik, D.; Drechsel, P.; Keraita, B.; Itanna, F. and Gebrekidan, H. 2018. Farmers' perceptions on irrigation water contamination, health risks and risk management measures in prominent wastewater-irrigated vegetable farming sites of Addis Ababa, Ethiopia. *Environ. Systems Decisions*. 38(4):52-64.
- Yin, Y.; Tang, Q.; Liu, X. and Zhang, X. 2017. Water scarcity under various socio-economic pathways and its potential effects on food production in the Yellow River basin. *Hydrol Earth System Sci.* 21(2):791-804.
- Zhang, J. and Ma, L. 2020. Environmental sustainability assessment of a new sewage treatment plant in China based on infrastructure construction and operation phases energy analysis. *Water*. 12(2):484-507. <https://doi.org/10.3390/w12020484>.