

Tarifas y Agua Virtual en Tres Cultivos del Distrito de Riego 003 Tula, Hidalgo, México

Jonathan Hernández Pérez¹

jonahdezp@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8892-8115>

Universidad Autónoma Chapingo
México

Juan Hernández Ortiz

jhdzo@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5957-594X>

Universidad Autónoma Chapingo
México

Ramón Valdivia-Alcalá

ramvaldi@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0434-3169>

Universidad Autónoma Chapingo
México

Oscar A. Arana-Coronado

aranaosc@colpos.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0434-3169>

Colegio de Postgraduados
México

RESUMEN

El precio que pagan los productores por el agua no alcanza para recuperar los costos de operación y mantenimiento. Una política de precios puede contribuir a uso eficiente del agua, a mejoras en la tecnificación de riego y a la reconversión de cultivos de mayor valor. El objetivo fue determinar la tarifa del agua por dam^3 para producir una tonelada de alfalfa, maíz grano y avena forrajera, en los diferentes módulos del distrito de riego 003 Tula, Hidalgo. El enfoque de la metodología fue cuantitativo a partir de datos de la cuota actual de riego, el rendimiento del cultivo y la lámina de riego. Los resultados sugieren que la tarifa calculada del agua es diferente para cada cultivo y para cada módulo de riego; en promedio, fue mayor para la avena forrajera, seguido del maíz grano y la alfalfa. Incrementar las cuotas de riego a medida que aumenta la demanda de agua representa un freno a esos incrementos. Sin embargo, incrementar las tarifas en el distrito de riego 003 no resultaría en una reconversión de cultivos debido a que la contaminación del agua les impide sembrar cultivos que requieren mejor calidad de agua.

Palabras clave: cuota de agua; tarificación; eficiencia del agua; agua virtual

¹ Autor principal.

Correspondencia: jonahdezp@gmail.com

Rates and Virtual Water in Three Crops in Irrigation District 003 Tula, Hidalgo, México

ABSTRACT

The price paid by producers for water is not enough to recover operation and maintenance costs. A pricing policy can contribute to efficient water use, to improvements in irrigation technology and to the reconversion of higher value crops. The objective was to determine the water rate per dam³ to produce one ton of alfalfa, grain corn and forage oats in the different modules of irrigation district 003 Tula, Hidalgo. The methodology approach was quantitative based on data from the current irrigation quota, crop yield and irrigation lamina. The results suggest that the calculated water rate is different for each crop and for each irrigation module; on average, it was higher for forage oats, followed by grain corn and alfalfa. Increasing irrigation fees as water demand increases represents a brake on those increases. However, increasing fees in irrigation district 003 would not result in crop reconversion because water contamination prevents them from planting crops that require better water quality.

Keywords: water quota, pricing, water efficiency, virtual water

*Artículo recibido 20 noviembre 2023
Aceptado para publicación: 30 diciembre 2023*

INTRODUCCIÓN

La cuota que pagan los productores por el agua de riego en los diferentes módulos de los distritos de riego en México es variado (Santos et al., 2000). Solo cubren los costos de operación y rara vez los costos de mantenimiento, es decir, estos cargos están por debajo de los costos totales (Toan, 2016). Además, en los distritos de riego rara vez se cuenta con sistemas volumétricos o sistemas de cuotas variables, a fin de reducir pérdidas que se traducen en menores costos (Calatrava & Garrido, 2010).

Los distritos de riego surgieron en la década de los veinte, en una era donde el agua no se consideraba como un bien escaso y se ignoraban los impactos ambientales del desvío de agua (Frederick, 2006). A pesar de que las tarifas de agua se incrementaron después de la transferencia a las asociaciones de usuarios (Arredondo & Wilson, 2004), aún están altamente subsidiadas (Guerrero et al., 2015) y prevalecen prácticas insostenibles.

Las tarifas bajas del agua y los subsidios brindan pocos incentivos para invertir en sistemas de riego eficientes. En este sentido, el aumento gradual en las tarifas del agua en el sector agrícola proporciona incentivos para conservar el agua y fondos para mantener o construir nueva infraestructura. Sin embargo, estas reformas son políticamente arriesgadas (Frederick, 2006).

La política tarifaria es un factor que motiva a los agricultores a utilizar un sistema de riego más eficiente y podría mejorar la productividad del agua y reducir su consumo (Zamani et al., 2021); puede ser una medida para hacer uso eficiente del agua e ir más allá de recuperar los costos de operación o funcionamiento y los costos de conservación o mantenimiento de la infraestructura (Calatrava & Garrido, 2010); es el instrumento clave para promover la reasignación y conservación de los recursos hídricos (Shen et al., 2015) y para combatir la escasez, pero es la menos utilizada con relación a su potencial (Griffin, 2006); puede ser clave para aumentar la productividad de la agricultura de regadío (Molle & Berkoff, 2007; J. Wang et al., 2010).

El aumento de la tarifa del agua tiene el potencial de frenar el consumo de agua al incentivar a los consumidores a reducir usos de agua no esenciales y evitables (Garrone et al., 2019), por ejemplo, en Australia ha contribuido a reducir 50% el volumen de agua de riego por hectárea, manteniendo el nivel de producción agrícola (Gurría, 2008). La implementación de tarifas aún se ve obstaculizada por la comprensión limitada de respuesta del consumidor a las señales del cambio en las tarifas del agua

(Garrone et al., 2019; Dieu-Hang et al., 2017). Aún están muy por debajo de ser una preocupación en comparación con los precios de las semillas, fertilizantes, combustibles o mano de obra (Arredondo & Wilson, 2004).

Para que funcione la política de tarificación primeramente se debe mejorar o modernizar la red de distribución y la infraestructura hidroagrícola (Momeni, Zakeri, Zahedi, et al., 2019).

Para hacer frente al futuro agrícola y las demandas de agua es esencial el aumento continuo de la productividad por unidad de agua, debido a que la escasez de agua reduce el crecimiento de la producción de alimentos (Frederick, 2006). Es decir, producir más cosecha por gota, contribuirá a aliviar la crisis del agua y es la principal forma de garantizar la seguridad alimentaria (Sun et al., 2017) y la seguridad hídrica (Kang et al., 2017).

Pero para conocer la productividad del agua es necesario cuantificar el contenido de agua utilizado para la producción de cultivos. Una mayor eficiencia en la utilización del agua implica reducir el contenido de agua en la producción. Se considera que el agua virtual es una poderosa herramienta para la asignación racional de los recursos hídricos regionales (Su et al., 2014). Los estudios actuales se centran en las asignaciones óptimas de agua física, aunque han comenzado a aplicar el concepto de agua virtual y huella hídrica en los modelos óptimos (Xu & Li, 2020a). Estos desafían el concepto tradicional de asignación de recursos hídricos basada en fuentes y ahorros (Su et al., 2014).

En el Distrito de Riego (DR) 003 Tula, Hidalgo, se paga una cuota fija por hectárea regada, independientemente del cultivo, y varía en cada asociación o módulo de riego. El presente trabajo tiene como objetivo cuantificar el contenido de agua virtual utilizado para la producción los cultivos de alfalfa, maíz grano y avena forrajera en los diferentes módulos de riego y determinar la tarifa por dam^3 de agua para estos cultivos.

MATERIALES Y MÉTODO

Los datos de la tarifa actual, la lámina de riego y el rendimiento de los cultivos en cada módulo de riego fueron proporcionados por el distrito de riego y pertenecen al año agrícola 2020-2021.

Se calculó el costo del agua consumida para producir una tonelada del cultivo i (C_i), dividiendo el costo del agua por hectárea o la tarifa actual del modulo (TA_i) entre el rendimiento del cultivo en toneladas por hectárea (X_i), es decir:

$$C_i = \frac{TA_i}{X_i} = \frac{MXN\$/ha}{t/ha} = \frac{MXN\$}{t} \quad (1)$$

El concepto de agua virtual fue definida por primera vez por Tony Allan en 1993 como la cantidad de agua necesaria para producir un bien y se usa para establecer políticas de eficiencia en el uso del agua (Hoekstra & Chapagain, 2007; Xu & Li, 2020b); para la gestión sostenible de los recursos hídricos en regiones con escasez de agua y especialmente en áreas propensas a la sequía (Marston & Konar, 2017). El contenido de agua virtual de un cultivo depende del tipo de cultivo, las condiciones naturales y geográficas, el sistema de riego utilizado y el modo de gestión. El contenido de agua virtual de un cultivo específico se expresa como la demanda de agua del cultivo i (en este caso en dam^3 en una hectárea) (W_i) entre el rendimiento del cultivo i (Momeni, Zakeri, Zahedi, et al., 2019; Wang & Hu, 2015):

$$Q_i = \frac{W_i}{X_i} = \frac{\text{dam}^3/ha}{t/ha} = \frac{\text{dam}^3}{t} \quad (2)$$

Zhang et al., (2014) utilizan la misma fórmula para analizar las cantidades de agua virtuales de agua para cinco cultivos en tres regiones de China y Aldaya et al., (2010) para calcular el agua virtual verde y azul, tanto de fuente superficial como subterránea en España.

La cantidad de agua consumida para producir una tonelada del cultivo i se calculó con el volumen neto utilizado para producir una hectárea del cultivo i entre el rendimiento del cultivo i , para cada módulo. Ríos-Flores et al., (2016) lo menciona como eficiencia del agua, es decir, la cantidad de agua para producir una unidad de un determinado cultivo o producto.

La tarifa por dam^3 de agua es igual a la división del costo del agua para producir una tonelada del cultivo i (C_i) entre la cantidad de agua consumida para producir una tonelada del cultivo i (Q_i). Entonces, la tarifa calculada por cada dam^3 de agua consumido para la producción de una tonelada del cultivo i según (Momeni, Zakeri, Esfandiari, et al., 2019) es:

$$TC_i = \frac{C_i}{Q_i} = \frac{MXN\$/t}{\text{dam}^3/t} = \frac{MXN\$}{\text{dam}^3} \quad (3)$$

Los principales cultivos que se siembran en el DR 003 Tula son: alfalfa (perenne), maíz grano (primavera-verano) y avena forrajera (otoño-invierno) (Cuadro 1). Estos representan 86.2% de la superficie sembrada total, 95.8% de la producción total y 82.6% del valor de la producción. El cultivo

de alfalfa representa 42.3% de la superficie sembrada total, el maíz grano el 33.0% y la avena forrajera el 11.0%.

Cuadro 1. Rendimiento y superficie sembrada de los principales cultivos por módulo de riego.

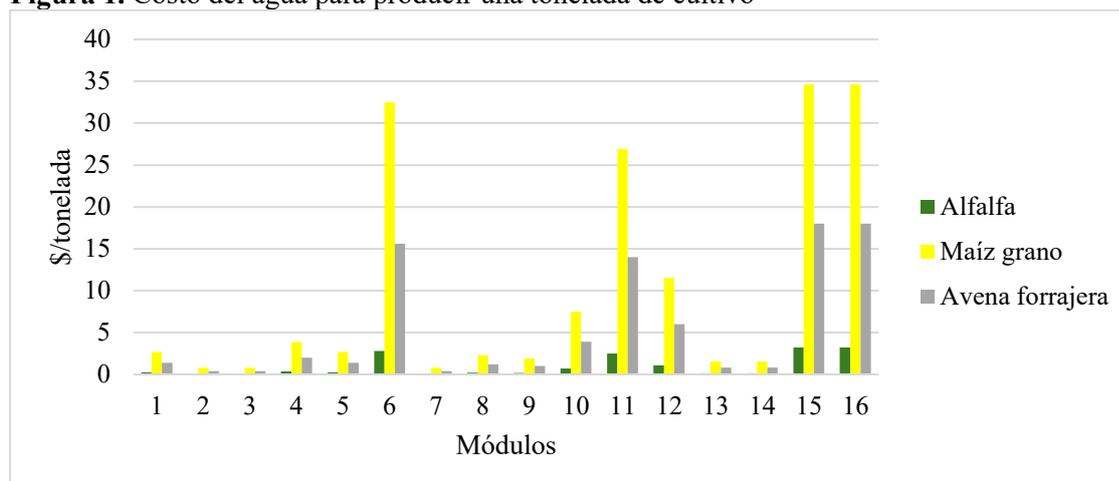
Módulo de riego	Alfalfa		Maíz grano		Avena forrajera	
	ha	t/ha	ha	t/ha	ha	t/ha
01 Actopan	6,904	140	2,000	13	400	25
02 Tlamaco-Juandhó	4,000	140	3,254	13	980	25
03 Mixquiahuala	2,000	140	2,592	13	800	25
04 Endhó-Xochitlán	1,255	140	1,343	13	420	25
05 Tepatepec	1,460	140	2,962	13	770	25
06 Alto Tepatepec	270	140	270	12	150	25
07 Tula	2,377	140	1,600	13	1,100	25
08 El Tumba	98	140	194	13	29	25
09 Artículo 27	448	140	580	13	90	25
10 Dendho-Cardonal	95	140	160	13	51	25
11 Cerro El Xicuco	601	140	240	13	40	25
12 El Solís	320	140	193	13	150	25
13 Gamagaox	884	140	650	13	400	25
14 El Bexha	380	140	260	13	80	25
15 Bombeo Agrícola Teltipán	59	140	130	13	35	25
16 Bombeo Cerro Juandhó de Teltipán	35	140	83	13	8	25
Total	21,186		16,511		5,503	

Fuente: elaboración propia con datos del DR 003 Tula, Hidalgo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El costo del agua consumida para producir una tonelada de maíz grano fue \$10.4/ton, seguido de la avena forrajera con \$5.3/ton y de la alfalfa con \$0.95/ton. El cultivo con menor rendimiento es el más costoso debido a que la cuota que pagan es homogénea (Figura 1).

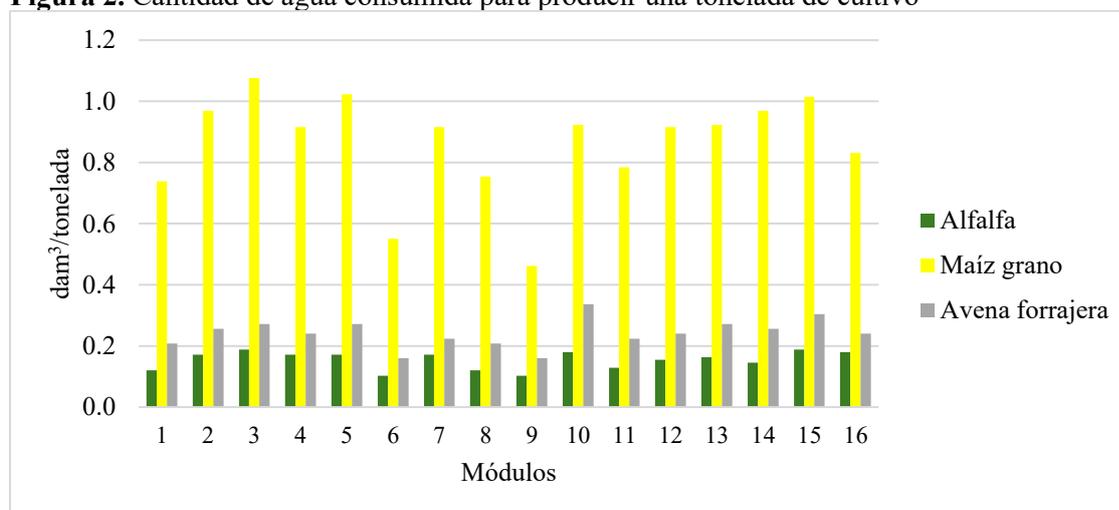
Figura 1. Costo del agua para producir una tonelada de cultivo



Fuente: Elaboración propia con datos del DR 003 Tula, Hidalgo.

El contenido de agua virtual en una tonelada de cultivo es mayor en el cultivo de maíz, seguido de la avena forrajera y de la alfalfa, con un promedio de 0.86 dam³/ton, 0.24 dam³/ton y 0.15 dam³/ton, respectivamente. A pesar de que la alfalfa (212.15 cm) tiene la lámina neta más alta que el maíz grano (120.18 cm) y la avena forrajera (61.63 cm), lo compensa su rendimiento (Figura 2).

Figura 2. Cantidad de agua consumida para producir una tonelada de cultivo



Fuente: Elaboración propia con datos del DR 003 Tula, Hidalgo.

Del volumen neto total asignado para el ciclo primavera-verano, el 86.8% del agua fue para producir maíz; el 55.9% de agua asignada para el ciclo otoño-invierno fue para producir avena forrajera, y el 98.5% del volumen de los cultivos perennes fue para producir alfalfa. Sin embargo, al analizar de manera general las proporciones cambian; 26.6% del volumen neto de agua utilizada en el distrito fue para producir maíz, 4.6% para producir avena forrajera y 60.3% para producir alfalfa (CONAGUA, 2020).

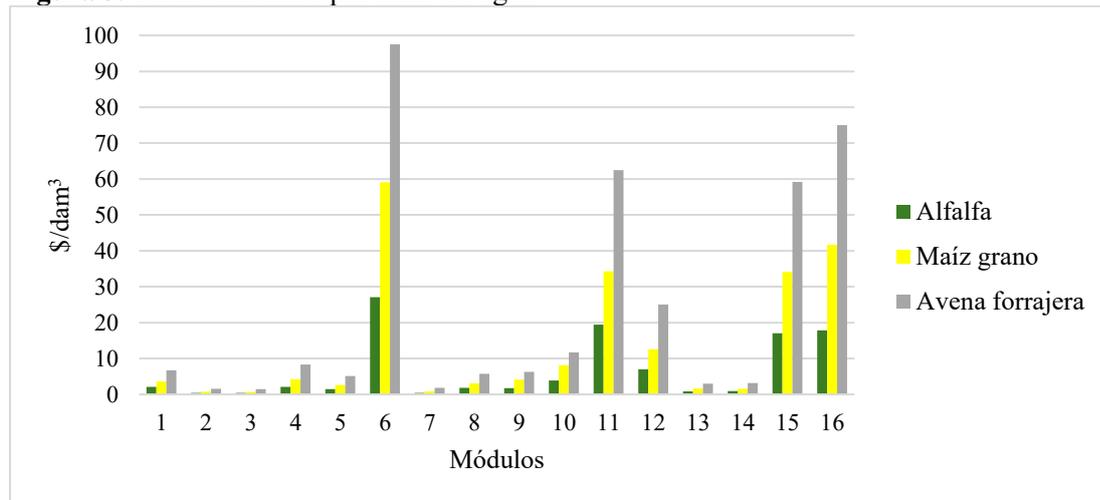
El contenido de agua virtual más bajo de maíz grano es del módulo 09 con 462 m³/ton similar a los obtenidos para Países Bajos (408 m³/ton) y Estados Unidos (489 m³/ton), mientras que el valor más alto es del módulo 03 con 1077 m³/ton, similares a Brasil (1180 m³/ton) y al promedio mundial (909 m³/ton). Aun así, el contenido de agua virtual en maíz es menor al arroz y al trigo (Hoekstra & Chapagain, 2007). La cuantificación del contenido de agua virtual de los productos puede indicar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos durante la producción (Xu & Li, 2020b). Una mejora en la productividad del agua durante el proceso de producción de cereales implica reducir el contenido de agua virtual (Shi-Kun et al., 2013).

La tarifa calculada promedio por dam³ de agua utilizado en la producción de alfalfa es \$6.53. Las tarifas calculadas más altas se encontraron en los módulos 06, 11, 15 y 16. En estos módulos las tarifas son más altas debido a que el costo se incrementa por el uso de energía para el bombeo, por esta razón, se siembran pocas hectáreas de alfalfa, ya que es un cultivo con alta demanda de agua y precio relativamente bajo.

La tarifa calculada promedio por dam³ de agua utilizado en la producción de maíz grano es \$13.32. En los primeros cinco módulos se siembran las mayores superficies de maíz, debido que las tarifas por dam³ de agua son relativamente bajas.

La tarifa calculada promedio por dam³ de agua utilizado en la producción de avena forrajera es \$23.37. La tarifa más alta es \$97.5 en el módulo 06, mientras que en el módulo 07 es la más baja con \$1.78. En este último modulo se siembran 1,100 hectáreas, el de mayor superficie sembrada con este cultivo

Figura 3. Tarifa calculada por dam³ de agua



Fuente: Elaboración propia con datos del DR 003 Tula, Hidalgo.

La tarifa que pagan los productores es diferente en cada módulo de riego y dependen de varios factores, entre ellos, los costos del suministro. Por ejemplo, donde la superficie del módulo es relativamente pequeña, los costos unitarios de suministro son más altos (Santos et al., 2000). El precio del agua por metro cúbico para producir el cultivo es mayor en los módulos donde la tarifa es alta, por esta razón, los productores pueden producir otros cultivos que sean más rentables.

En los módulos donde la tarifa actual es baja pasa lo contrario, la tarifa calculada por cada mil metros cúbicos de agua para producir el cultivo también es bajo. Es decir, a medida que se demande mayor volumen de agua para los cultivos y la tarifa actual de riego permanezca constante, la tarifa calculada del agua para producir el cultivo seguirá bajando. Por lo tanto, incrementar las cuotas de riego a medida que aumenta la demanda de agua representa un freno a esos incrementos.

A pesar de que es la misma cuota que pagan en el módulo, la tarifa calculada es diferente para los cultivos analizados. En promedio, fue mayor para la avena forrajera, seguido del maíz grano y la alfalfa, debido a que se paga la misma cuota sin diferenciar el cultivo y la avena forrajera requiere menos volumen de agua.

Al aumentar las tarifas del riego se espera que cambien los patrones de cultivo, los métodos de riego y empleen nuevas tecnologías que reduzcan el consumo de agua (Bartolini et al., 2009). Sin embargo, la combinación de este instrumento con algún otro podría dar mejores resultados, por ejemplo, la negociación del agua sobrante o los mercados de agua pueden proporcionar ingresos a los productores (Cornish et al., 2004).

En el DR 003 el riego con aguas residuales puede enfrentar condiciones técnicas, problemas de costos y factores socioeconómicos locales que complican la fijación de tarifas (Fagundes & Marques, 2023).

CONCLUSIONES

El presente estudio sugiere que las tarifas del agua para producir una tonelada de alfalfa, maíz grano y avena forrajera son diferentes en cada uno de los módulos de riego. La tarifa calculada del agua para producir avena forrajera fue mayor que para producir maíz grano y alfalfa en todos los módulos y mayor donde existen bombeos.

Cuando se cobra una tarifa constante por hectárea regada se producen cultivos que demandan mayor cantidad de agua y de bajo valor. Sin embargo, el distrito de riego 003 es especial porque la tarifa del agua es mucho más baja que el agua de otros distritos de riego, debido a la baja calidad. En este sentido, incrementar las tarifas no resultaría en una reconversión de cultivos debido a que la calidad de agua les impide sembrar cultivos que requieren mejor calidad de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aldaya, M. M., Martínez-Santos, P., & Llamas, M. R. (2010). Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental region, Spain. *Water Resources Management*, 24(5), 941–958. <https://doi.org/10.1007/S11269-009-9480-8/METRICS>
- Arredondo, S. M., & Wilson, P. N. (2004). A farmer-centered analysis of irrigation management transfer in Mexico. *Irrigation and Drainage Systems*, 18(1), 89–107. <https://doi.org/10.1023/B:IRRI.0000019516.75955.1a>
- Bartolini, F., Gallerani, V., Raggi, M., & Viaggi, D. (2009). Water management and irrigated agriculture in Italy: multicriteria analysis of alternative policy scenarios. *Water Policy*, 12(1), 135–147. <https://doi.org/10.2166/wp.2009.158>
- Calatrava, J., & Garrido, A. (2010). Agricultural Water Pricing: EU and Mexico. In *Sustainable Management of Water Resources in Agriculture*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264083578-12-es>.
- CONAGUA. (2020). *Plan de Riego para el año agrícola 2020-2021*.
- Cornish, G., Bosworth, B., Perry, C., & Burke, J. (2004). *Water Charging in Irrigated Agriculture. An Analysis of International Experience*. FAO. <https://www.fao.org/3/y5690e/y5690e00.htm>

- Dieu-Hang, T., Grafton, R. Q., Martínez-Espiñeira, R., & Garcia-Valiñas, M. (2017). Household adoption of energy and water-efficient appliances: An analysis of attitudes, labelling and complementary green behaviours in selected OECD countries. *Journal of Environmental Management*, 197, 140–150. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2017.03.070>
- 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>
- Frederick, K. D. (2006). Irrigation efficiency, a key issue: more crops per drop. In *Water Crisis: Myth or Reality Marcelino Botin Water Forum 2004*. Taylor & Francis/Balkema.
- Garrone, P., Grilli, L., & Marzano, R. (2019). Price elasticity of water demand considering scarcity and attitudes. *Utilities Policy*, 59, 100927. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2019.100927>
- Griffin, R. (2006). Water Pricing. In *Water Resource Economics*. The MIT Press. [https://fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio Tendencias/PUBLICACIONES/LIBROS SEM INTERN/water crisis/librocompleto-watercrisis.pdf](https://fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio_Tendencias/PUBLICACIONES/LIBROS_SEM_INTERN/water_crisis/librocompleto-watercrisis.pdf)
- Guerrero, H., Gómez, F., & Rodríguez, J. R. (2015). Water Pricing in Mexico: Pricing Structures and Implications. In A. Dinar, V. Pochat, & J. Albiac-Murillo (Eds.), *Water Pricing Experiences and Innovations* (pp. 231–247). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16465-6_12
- Gurría, Á. (2008). Los precios del agua para la agricultura. *La Exposición Internacional Zaragoza 2008*. <https://www.oecd.org/environment/lospreciosdelaguaparalaagricultura-observacionesdeangelgurriasecretariogeneralde-la-ocde.htm>
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Integrated Assessment of Water Resources and Global Change*, 21, 35–48. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5591-1_3
- Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., Su, X., Lu, H., Li, X., Huo, Z., Li, S., & Ding, R. (2017). Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. *Agricultural Water Management*, 179, 5–17. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2016.05.007>

- Marston, L., & Konar, M. (2017). Drought impacts to water footprints and virtual water transfers of the Central Valley of California. *Water Resources Research*, 53(7), 5756–5773.
<https://doi.org/10.1002/2016WR020251>
- Molle, F., & Berkoff, J. (2007). Water pricing in irrigation: The lifetime of an idea. *Irrigation Water Pricing: The Gap Between Theory and Practice*, 1–20.
<https://doi.org/10.1079/9781845932923.0001>
- Momeni, M., Zakeri, Z., Esfandiari, M., Behzadian, K., Zahedi, S., & Razavi, V. (2019). Comparative analysis of agricultural water pricing between Azarbaijan Provinces in Iran and the state of California in the US: A hydro-economic approach. *Agricultural Water Management*, 223, 105724.
<https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2019.105724>
- Momeni, M., Zakeri, Z., Zahedi, S., & Razavi, V. (2019). Investigation on water content of selected agricultural products of East Azarbaijan and West Azarbaijan. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 9(2), 189–200. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2019.098163>
- Ríos-Flores, J. L., Torres Moreno, M., Ruiz Torres, J., & Torres Moreno, M. A. (2016). Efficiency and productivity of water irrigation in wheat (*Triticum vulgare*) from Ensenada and Valle de Mexicali, Baja California, Mexico. *Acta Universitaria*, 26(1), 20–29. <https://doi.org/10.15174/au.2016.825>
- Santos, A. L., Palacios, E., Exebio, A., & Chalita, L. E. (2000). Metodología para evaluar la distribución de costos e ingresos relacionados con el servicio de riego. *Agrociencia*, 34(5), 639–649.
<https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/68/68>
- Shen, D., Yu, X., & Shi, J. (2015). Introducing New Mechanisms into Water Pricing Reforms in China. In A. Dinar, V. Pochat, & J. Albiac-Murillo (Eds.), *Water Pricing Experiences and Innovations* (pp. 343–358). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16465-6_17
- Shi-Kun, S., Pu-Te, W., Yu-Bao, W., & Xi-Ning, Z. (2013). The virtual water content of major grain crops and virtual water flows between regions in China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(6), 1427–1437. <https://doi.org/10.1002/JSFA.5911>
- Su, X., Li, J., & Singh, V. P. (2014). Optimal Allocation of Agricultural Water Resources Based on Virtual Water Subdivision in Shiyang River Basin. *Water Resources Management*, 28(8), 2243–2257. <https://doi.org/10.1007/S11269-014-0611-5/TABLES/6>

- Sun, S., Zhang, C. F., Li, X., Zhou, T., Wang, Y., Wu, P., & Cai, H. (2017). Sensitivity of crop water productivity to the variation of agricultural and climatic factors: A study of Hetao irrigation district, China. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2562–2569.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.11.020>
- Toan, T. D. (2016). Water Pricing Policy and Subsidies to Irrigation: a Review. *Environmental Processes*, 3(4), 1081–1098. <https://doi.org/10.1007/s40710-016-0187-6>
- Wang, J., Huang, J., Zhang, L., Huang, Q., & Rozelle, S. (2010). Water governance and water use efficiency: The five principles of WUA management and performance in China. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(4), 665–685. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00439.x>
- Wang, X., & Hu, J. (2015). Research on Virtual Water in the Chinese International Grain Trade. *Modern Economy*, 06(06), 735–746. <https://doi.org/10.4236/me.2015.66070>
- Xu, M., & Li, C. (2020a). Optimal Water Utilization and Allocation Strategy Based on Water Footprint Accounting. *Application of the Water Footprint: Water Stress Analysis and Allocation*, 127–144. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0234-7_11
- Xu, M., & Li, C. (2020b). The Concepts of Virtual Water and Water Footprint. *Application of the Water Footprint: Water Stress Analysis and Allocation*, 9–16. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0234-7_2
- Zamani, O., Azadi, H., Mortazavi, S. A., Balali, H., Moghaddam, S. M., & Jurik, L. (2021). The impact of water-pricing policies on water productivity: Evidence of agriculture sector in Iran. *Agricultural Water Management*, 245, 106548. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106548>
- Zhang, C., McBean, E. A., & Huang, J. (2014). A Virtual Water Assessment Methodology for Cropping Pattern Investigation. *Water Resources Management*, 28(8), 2331–2349.
<https://doi.org/10.1007/S11269-014-0618-Y/TABLES/12>