



PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO DE RIEGO 003 TULA, HIDALGO, MÉXICO

Agricultural production and climate change in Irrigation District 003 Tula, Hidalgo, Mexico

Jonathan Hernández Pérez¹

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

 jonahdezp@gmail.com

¹Ramón Valdivia Alcalá

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

ramvaldi@gmail.com 

Juan Hernández Ortiz¹

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

 jhdzo@yahoo.com.mx

²Oscar Antonio Arana Cronado

<https://orcid.org/0000-0001-5720-7561> 

aranaosc@colpos.mx 

¹Dr., División de Ciencias Económico Administrativas,
Universidad Autónoma Chapingo, México.

² Dr., Colegio de Postgraduados, México.

RESUMEN

La intensificación en el consumo de agua ha provocado la degradación de los principales ecosistemas hídricos. El objetivo fue describir los principales cultivos que se cosechan en el Distrito de Riego 003 Tula, Hidalgo, México, y como el uso de aguas residuales contribuye a la producción agrícola y a reducir los efectos del cambio climático. Los principales cultivos que se cosecharon fueron avena forrajera en el ciclo otoño-invierno, maíz grano en primavera-verano y alfalfa en los cultivos perennes. Estos cultivos soportan ligeramente la salinidad de suelo y no tienen restricciones con respecto a la calidad del agua, como lo es en algunas hortalizas. A pesar de las condiciones de contaminación del agua, la región del Distrito de Riego 003 Tula es el motor agrícola, el principal productor de granos en el Estado de Hidalgo, lo que representa contribuir a la mitigación del cambio climático mediante el ahorro de agua, ahorro de fertilizantes, menos emisiones de gases, mayor seguridad alimentaria y fuente de ingresos para las familias de los

Cómo citar:

Fecha recepción: 15 de Mayo de 2024 / Fecha Aprobación: 30 de Agosto 2024 / Fecha Publicación: 30 de Septiembre 2024

Hernández Pérez, J., Hernández Ortiz, J., Valdivia Alcalá, R. & Arana Cronado, O. A. (2024). *Producción agrícola y cambio climático en el distrito de riego 003 Tula, Hidalgo, México*. Revista. FAGROPEC. Vol. 16(2), ppt 7-20.



Este artículo puede compartirse bajo la Licencia
Creative Commons (CC BY 4.0).

pequeños productores.

PALABRAS CLAVE:

Superficie cosechada, cultivos, ciclo agrícola, contaminación del agua.

ABSTRACT

The intensification of water consumption has caused the degradation of the main water ecosystems. The objective was to describe the main crops that are harvested in the Irrigation District 003 Tula, Hidalgo, Mexico, and how the use of wastewater contributes to agricultural production and reduce the effects of climate change. The main crops that were harvested were forage oats in the autumn-winter cycle, grain corn in spring-summer and alfalfa in perennial crops. These crops slightly tolerate soil salinity and do not have restrictions regarding water quality, as is the case with some vegetables. Despite the conditions of water contamination, the region of Irrigation District 003 Tula is the agricultural engine, the main producer of grains in the State of Hidalgo, which represents contributing to the mitigation of climate change by saving water, fertilizer savings, less gas emissions, greater food security and a source of income for the families of small producers.

KEYWORDS:

Harvested area, crops, agricultural cycle, water pollution.

INTRODUCCIÓN

Anteriormente las políticas de desarrollo se centraban en promover el comercio, la industria, la energía y la agricultura, pero este enfoque está cambiando, al considerarse al agua como un recurso estratégico para lograr el desarrollo económico, ya que incluye todo lo que importa: la salud humana y ecológica, la producción industrial y agrícola, el comercio internacional, el cambio climático y las políticas nacionales e internacionales (Gleick, 2013).

La disponibilidad y calidad del agua son un límite para el bienestar humano, ya que se requiere proporcionar agua en cantidad suficiente y de calidad aceptable a la población. Sin embargo, estas se ven afectadas directamente por las acciones humanas e indirectamente por el cambio climático antropogénico (Tarhule, 2016). Por otro lado, existe una fuerte competencia por el agua entre los diferentes usos actuales en los diferentes sectores, para la producción de alimentos, para el abastecimiento urbano y para fines turísticos (Ward & Michelsen, 2000; Aznar-Sánchez et al., 2018).

Los cambios en el uso del suelo y la intensificación en el consumo de agua han provocado la degradación de los principales ecosistemas hídricos, y con el cambio climático hay mayor variabilidad en los ciclos de las lluvias y se pueden presentar sequías más largas (Aznar et al., 2021). Esto representa mayor escasez y menor bienestar para la población.

El crecimiento demográfico y económico ha aumentado la demanda de agua y la producción de aguas residuales en una escala inimaginable (Fagundes & Marques, 2023). El sector agrícola es el principal usuario de agua y responsable del 70% de las extracciones de agua dulce y de más del 90% de su uso consuntivo (FAO, 2013). Además, el riego es reconocido como el principal contribuyente a la degradación del ecosistema del agua (Flávio et al., 2017).

Las prácticas del pasado y actuales en la gestión del agua son insostenibles por lo que se requiere gestionarla como un bien económico, para lograr el uso eficiente y equitativo, de manera que se pueda conservar y proteger este recurso. Es decir, soluciones de ganar-ganar en donde haya beneficios para toda la sociedad en lugar de arruinar un sector para apoyar a otro (Tarhule, 2016). Para esto se debe adoptar una gestión integral y moderna de los recursos hídricos, entre las que se encuentran: la desalinización del agua de mar y la recuperación de aguas residuales (Bakopoulou et al., 2010).

El reciclaje de agua se está convirtiendo en una práctica importante en los últimos años, sobre todo en zonas afectadas por la escasez. Los usos de las aguas residuales recuperadas son: uso agrícola, riego urbano, mejora del medio ambiente, extinción de incendios, descarga de inodoros; y debe regularse cuidadosamente para evitar efectos en la salud y la contaminación de las aguas subterráneas (Bouwer, 2000).

El cambio climático puede afectar la capacidad y los niveles del servicio hasta los efectos sobre el desempeño del tratamiento y la calidad del agua en las regiones que usan aguas

residuales (Khalkhali & Mo, 2020) rainfall, and snowfall. Las autoridades gubernamentales locales deben ser conscientes de los impactos y riesgos climáticos para poder tomar decisiones importantes a largo plazo relacionadas con su infraestructura (Hughes et al., 2021) and their vulnerability to the impacts of climate change. places the health and sanitation of many communities at risk. The impacts of climate change on wastewater systems are numerous and can lead to wide ranging implications over changing timescales. This paper considers the significance of the impacts and implications, how they will be distributed across different groups, how they will manifest in different contexts and locations, and conclude by proposing a range of guiding principles for local government decision makers. The research firstly considered direct climate-related impacts on a range of wastewater system elements (including reticulated wastewater systems, on-site wastewater systems and treatment plants).

En el Valle del Mezquital, el clima es semiárido con baja precipitación pluvial, por lo que, la producción agrícola sería limitada. Sin embargo, hace más de cien años se conectó con las aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México (García-Salazar, 2019; Ortega-Larrocea et al., 2001) in particular, the abundance of arbuscular mycorrhizal fungi. We have studied the effect in the Mezquital Valley of Mexico, on two kinds of soil (Leptosol and Vertisol; y provocó el cambio del paisaje de la cubierta vegetal original a cultivos (Hernández-González et al., 2018). Es decir, hubo una transformación ecológica y socioproductiva (Contreras-Román, 2018).

Los agricultores normalizaron el uso de aguas residuales no tratadas en el riego agrícola, cambiando el paisaje semiárido, y los volvió dependientes de estas aguas, pues son un motor de desarrollo socioeconómico. Se riegan entre 80,000 y 90,000 hectáreas divididas entre tres distritos de riego (DR): el DR 003 Tula, el DR 100 Alfajayucan y el DR 112 Ajacuba (Caucci & Hettiarachchi, 2022). Los cultivos regados con agua residuales se limitan a forrajes, principalmente alfalfa y maíz (Cisneros & Saucedo, 2016; Durán et al., 2021).

La irrigación agrícola, como en el DR 003, juega un papel importante en la economía rural, es un acelerador el crecimiento de la producción; incrementa la producción por unidad de la tierra y se pueden cosechar dos temporadas. Pero también, puede contribuir a mitigar el cambio climático con el consumo de aguas residuales.

El objetivo fue describir los principales cultivos que se cosechan en el Distrito de Riego 003 Tula, Hidalgo, México para el periodo 2001-2022, y como el uso de aguas residuales contribuye a la producción agrícola y a reducir los efectos del cambio climático.

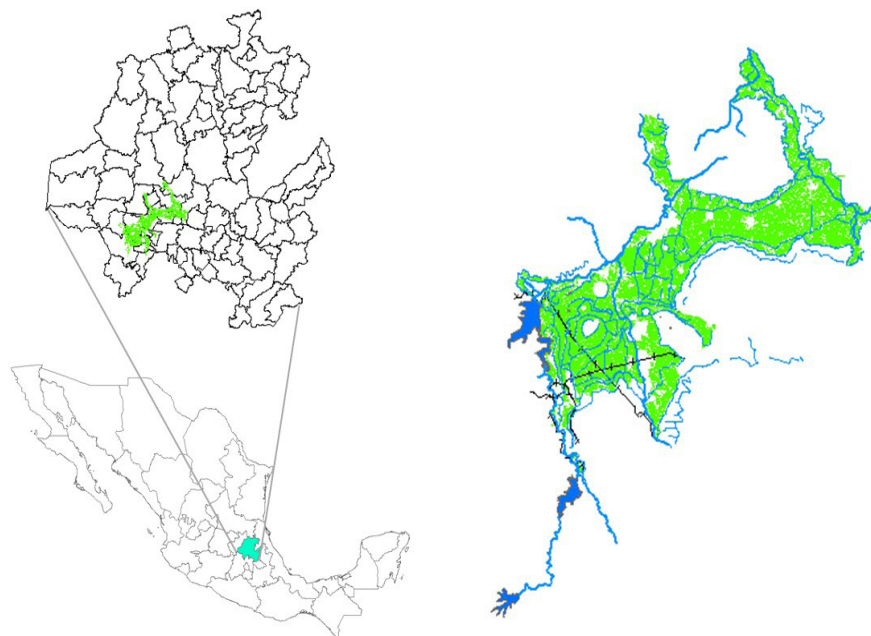
MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del distrito

El Distrito de Riego 003 Tula se estableció por decreto presidencial publicado en diario oficial de la federación el 20 de enero de 1955. Se ubica en la región conocida como Valle del Mezquital, al centro-sur del Estado de Hidalgo; entre los paralelos 19° 40' y 20° 29' de latitud norte y los meridianos 99°27' y 99°57', con una altitud media de 1985 msnm. La

superficie beneficiada con el riego se distribuye en 17 municipios del Estado de Hidalgo: Atotonilco, Tula, Atitalaquia, Tlaxcoapan, Tetepango, Tlahuelilpan, Tezontepec, Tepetitlán, Mixquiahuala, Francisco I. Madero, Progreso de Obregón, Chilcuautla, San Salvador, Actopan, Santiago de Anaya, Ixmiquilpan y El Arenal (CONAGUA, 2020) (Figura 1).

Figura 1.
Ubicación del DR 003 Tula, Hidalgo, México.



Fuente: elaboración propia con información de (CONAGUA, 2020).

El DR está integrado por dieciséis módulos de riego: Actopan, Tlamaco-Juandhó, Mixquiahuala, Endhó-Xoxhitlán, Tepatepec, Alto Tepatepec, Tula, El Tumba, Artículo 27, Dendhó-Cardonal, Cerro El Xicuco, El Solís, Gamagaox, El Bexha, Bombeo Agrícola Teltipán y Bombeo Cerro Juandhó de Teltipán. Las fuentes de abastecimiento son la presa Endhó, la presa Requena, la presa Taxhimay, el túnel emisor central, río El Salto, río Salado y Xotho (CONAGUA, 2020).

Tabla 1.
Superficie regable por municipio y modulo del DR 003.

Municipio	Regable (ha)	%	Módulo	Regable (ha)	%
Mixquiahuala	8 700	16,8%	Actopan	10 227,17	20,4%
Francisco I. Madero	7 650	14,8%	Tlamaco-Juandhó	9 418,62	18,8%
Tezontepec	7 372	14,2%	Mixquiahuala	7 316,42	14,6%
San Salvador	6 030	11,7%	Tepatepec	5 836,86	11,6%
Tula	4 728	9,1%	Tula	5 332,84	10,6%

Tlaxcoapan	3 436	6,6%	Endhó-Xoxhitlán	3 833,13	7,7%
Santiago de Anaya	3 160	6,1%	Gamagaox	2 154,59	4,3%
Progreso de Obregón	2 500	4,8%	Artículo 27	1 246,12	2,5%
Actopan	2 476	4,8%	Cerro El Xicuco	1 000,34	2,0%
Atitalaquia	1 460	2,8%	El Bexha	929,71	1,9%
Tlahuelilpan	1 404	2,7%	El Solís	872,91	1,7%
Tepetitlán	915	1,8%	Alto Tepatepec	800,00	1,6%
Tetepango	915	1,8%	El Tumba	400,00	0,8%
Ixmiquilpan	402	0,8%	Dendhó-Cardonal	306,00	0,6%
Atotonilco	304	0,6%	Bombeo Agrícola Teltipán	296,00	0,6%
El Arenal	213	0,4%	Bombeo Cerro Juandhó de Teltipán	133,30	0,3%
Chilcuautila	94	0,2%			
Total	51 759	100%	Total	50 104,01	100%

Fuente: (CONAGUA, 2020).

El número de usuarios en 2001 era 30 948, del cual, 60,3% eran de propiedad ejidal y 44,8% usuarios de pequeña propiedad. Para 2022 el número de usuarios de propiedad ejidal se elevó a 21 083 y el número de usuarios de pequeña propiedad aumentó a 15 754, es decir, 57,2% usuarios ejidales y 42,8% pequeños propietarios. El 54,2% de la superficie regada es ejidal y el 45,8% es pequeña propiedad.

La parcela promedio ejidal es 1,24 hectáreas y la parcela promedio en pequeña propiedad es 1,49 hectáreas. Es decir, las tierras cultivables en el Distrito de Riego se encuentran en manos de pequeños campesinos minifundistas, lo que ocasiona carencia de crédito y asistencia técnica (Contreras-Román, 2018).

Análisis de la información

La base de datos se consultó en la plataforma de la comisión nacional del agua sobre las estadísticas agrícolas de los distritos de riego, donde vienen desagregadas por cultivo, por distrito de riego y por superficies regadas y volúmenes (CONAGUA, 2023). Está la información de 86 distritos de riego, sin embargo, solo se analizó la información del Distrito de Riego 003 Tula, perteneciente al Estado de Hidalgo, México, para el periodo 2001-2022. La información la presentan en forma agregada, es decir, a nivel de distrito, por lo que es una limitante para hacer el análisis más detallado a nivel de módulo de riego. El valor de la producción se deflactó con el índice de precios al productor de la agricultura, con año base julio de 2019 que publica el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de la superficie cosechada en el DR 003 Tula en el periodo 2001-2022 fue 47 478,5 hectáreas, de las cuales, 12,7% corresponden a cultivos de otoño-invierno, 36,6% a cultivos de primavera-verano, 50,7% a cultivos perennes. La producción promedio fue de 2,9 millones toneladas, de la cuales, 89,9% corresponde a cultivos perennes, 5,9%

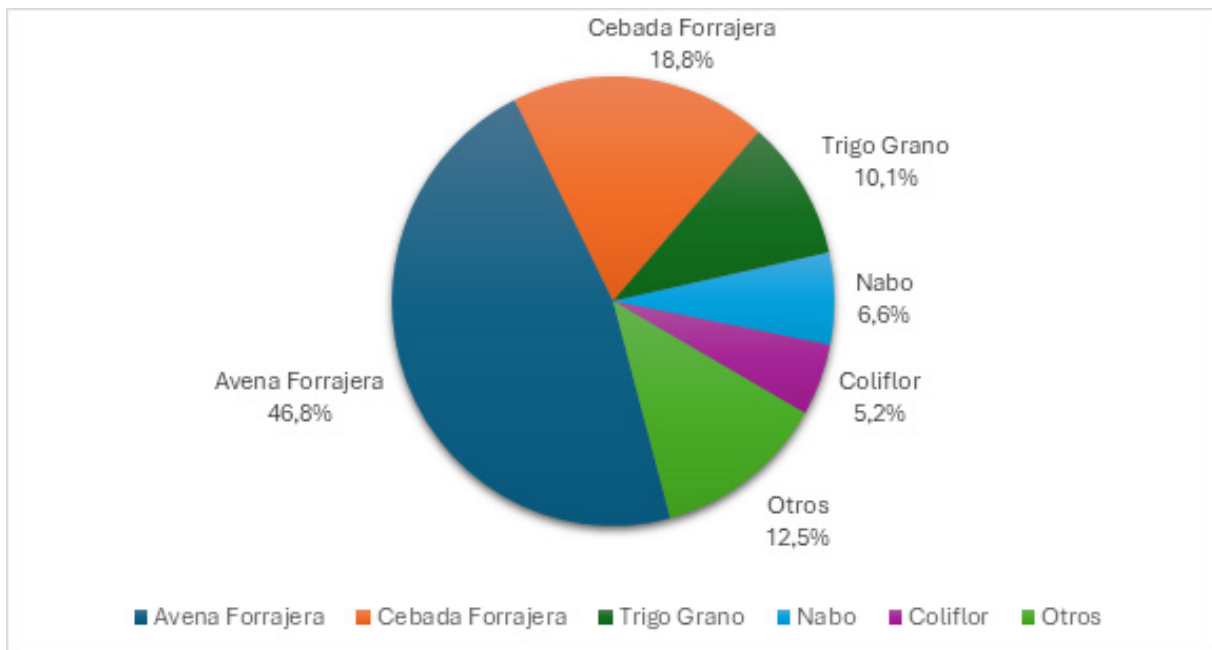
de primavera-verano, 4,3% de otoño-invierno. El valor de la producción promedio anual fue \$2 433,8 MXN millones de pesos constantes (a precios de julio de 2019); 7,7% lo generaron los cultivos de otoño-invierno, 43,4% de primavera-verano, 48,9% de cultivos perennes (CONAGUA, 2023).

Superficie cosechada

En promedio de 2001-2022 se cosecharon 6 024 hectáreas en el ciclo otoño-invierno. La avena forrajera, la cebada forrajera, el trigo grano, el nabo y la coliflor, representaron 87,5% de la superficie cosechada en el ciclo otoño-invierno. El cultivo de avena forrajera representó 46,8% de la superficie cosechada total en este mismo ciclo (Figura 2), además, muestra una tendencia creciente.

Figura 2.

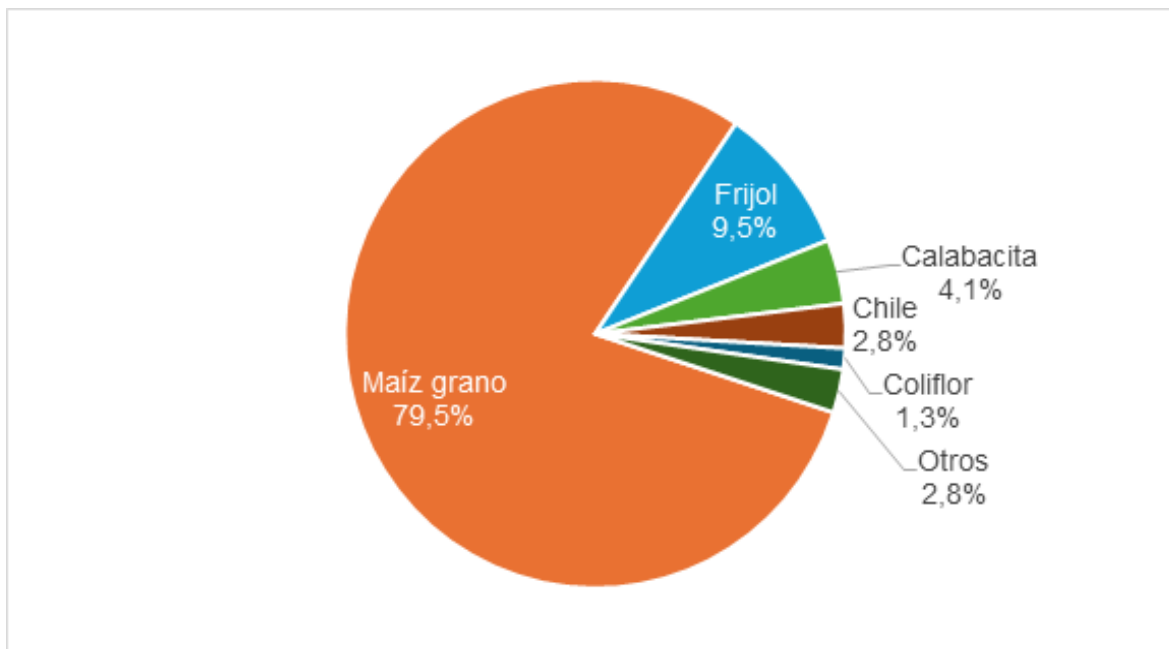
Proporción de la superficie cosechada en el ciclo otoño-invierno.



Fuente: elaboración propia con información de (CONAGUA, 2023).

A pesar de que el cultivo de avena forrajera abarcó la mayor superficie de los cultivos del ciclo otoño-invierno no es el que tuvo el mayor valor de la producción. La coliflor con 5,2% de la superficie cosechada aportó 31,2% del valor de la producción, mientras que la avena forrajera aportó 18,8%. Otro cultivo que aportó valor agregado con poca superficie cosechada fue el nabo; con 6,6% de la superficie cosechada aportó 12,2% del valor de la producción.

En el ciclo primavera-verano, en promedio se cosecharon anualmente 17 378 hectáreas en el periodo 2001-2022. El cultivo de maíz grano fue el más representativo con 79,5% del total de superficie cosechada (Figura 3), 84,5% del volumen de producción y 73,6% del valor de la producción.

Figura 3.*Proporción de la superficie cosechada en el ciclo primavera-verano.*

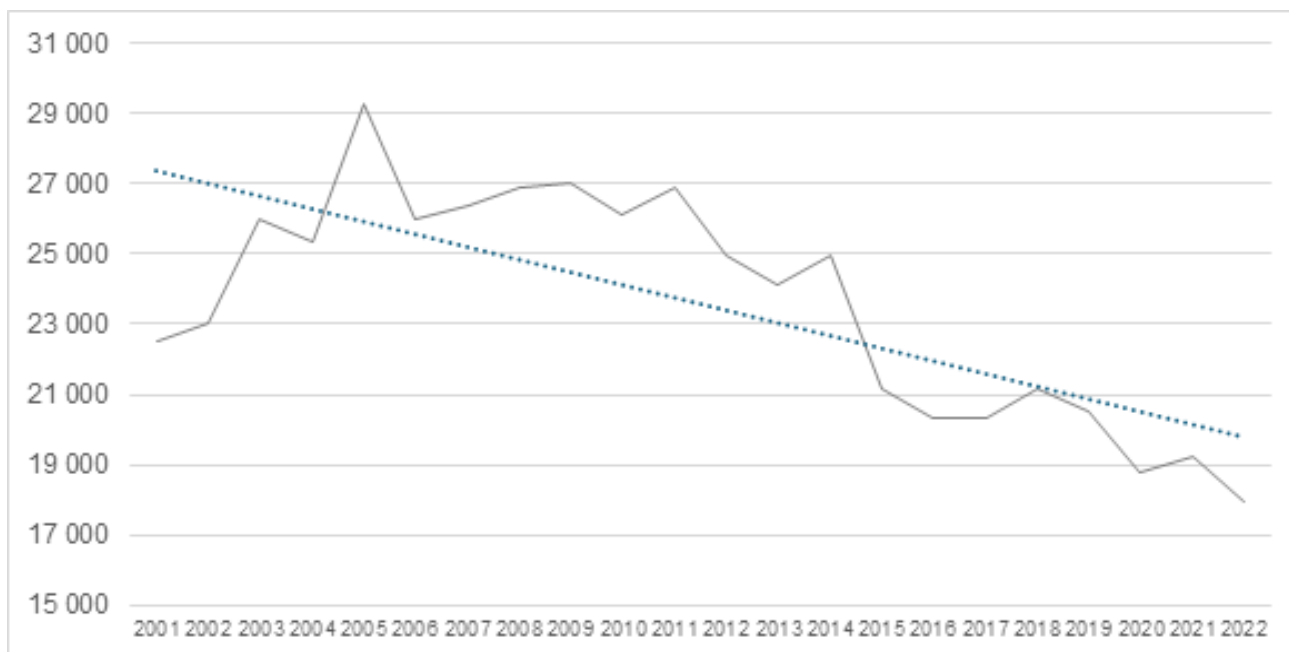
Fuente: elaboración propia con información de (CONAGUA, 2023).

El cultivo de coliflor y calabacita en el ciclo primavera-verano representaron poca superficie cosechada, pero el valor de la producción fue mayor al valor que aportó el frijol con mayor superficie.

Algunos cultivos presentaron una restricción en la superficie de siembra como el brócoli, cilantro, nabo, jitomate, tomate de cascara, debido a la contaminación del agua. Es decir, la calidad del cultivo depende de la calidad del agua (Zhang et al., 2015). Es necesario vigilar que los efluentes tengan la calidad dentro de los estándares para riego y para proteger el ecosistema (Al-Ghazawi & Alawneh, 2021).

En los cultivos perennes se cosecharon en promedio 24 067 hectáreas, de las cuales, 98,0% corresponden al cultivo de alfalfa y solo 0,6% al cultivo de zacate bermuda, el resto son otros forrajes y otros pastos. Estas cifras son muy similares en cuanto a volumen de producción y valor de la producción de la alfalfa, 98,0% y 98,5%, respectivamente. El cultivo de alfalfa representó el 50% de la superficie cosechada total del DR 003. Este cultivo permitió el uso de la tierra en todo el año dejando fuera a los otros cultivos para los ciclos primavera-verano y otoño-invierno. Sin embargo, mostró una tendencia decreciente en la superficie cosechada (Figura 4).

Figura 4.
Superficie cosechada en el cultivo de alfalfa, 2001-2022.



Fuente: elaboración propia con información de (CONAGUA, 2023).

Otro de los factores que determinó el tipo de cultivo a sembrar es la salinidad o el alto contenido de sodio en el suelo (Hernández-González et al., 2018). En su mayoría se siembra alfalfa, maíz y avena, ya que estos cultivos toleran moderadamente la salinidad (Pérez-Díaz et al., 2019).

La producción agrícola en el DR 003 contribuye a mejorar la autosuficiencia y seguridad alimentaria del Valle del Mezquital, así como incrementar el ingreso de los productores y mejorar la situación económica de los hogares agrícolas.

En el DR 003 se usaron laminas altas para lavar las sales de los suelos y por las pérdidas de agua en la red de conducción o los canales que no están revestidos (Jiménez-Cisneros et al., 2005).

El riego con aguas residuales aportó al suelo materias orgánicas, nitrógeno y fósforo, que incrementaron la productividad agrícola. Sin embargo, el agua lleva metales pesados que fueron absorbidos por los cultivos como la alfalfa, el maíz, la avena y la calabacita; generaron enfermedades por helmintos en agricultores y consumidores de productos agrícolas regados con agua residual (Jiménez-Cisneros et al., 2005). Los plaguicidas que se usan normalmente, entran al medio ambiente y generan efectos nocivos en el hombre, la fauna y la vegetación (Moncayo-Cassiano et al., 2017).

Pero la reutilización de estas aguas en la agricultura es una alternativa en la gestión del agua después del incremento en el deterioro de su calidad (Bakopoulou et al., 2010) y es una opción en las regiones donde enfrentan escasez (Alcon et al., 2010).

La región del Valle del Mezquital, con la reutilización de aguas residuales contribuye a la adaptación del cambio climático y también aumenta la seguridad alimentaria. Es el granero y forrajero del Estado de Hidalgo y la tercera región productora de México (Contreras-Román, 2018). Esto representa fuentes de empleo y de ingresos para las familias de la región.

El uso de aguas residuales en la agricultura es una importante estrategia para mitigar el cambio climático (Espira et al., 2024); podría reducir la huella hídrica y la huella de carbón; evitado el bombeo de agua dulce y el ahorro de energía, el ahorro de fertilizantes, la captura de fósforo y la prevención de la extracción de fertilizantes minerales de las minas (Hanjra et al., 2012).

Al reducir el exceso de fertilizantes también se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero que se emiten en la producción, y por el secuestro de carbono relacionadas con la producción de cultivos. Además, la reutilización de agua evita la sobreexplotación del acuífero local y previene la eutrofización de los ecosistemas acuáticos (Resende et al., 2022).

Al reutilizar las aguas residuales, el agua ahorrada se puede asignar para usos que requieran mayor calidad, contribuyendo así a una utilización más sostenible de los recursos (Trinh et al., 2013).

CONCLUSIONES

En el Distrito de Riego 003 Tula, Hidalgo, México, se siembran principalmente tres cultivos; la avena y la cebada forrajeras para el ciclo otoño-invierno, el maíz grano para el ciclo primavera-verano y la alfalfa para los cultivos perennes. De estos cuatro, la alfalfa es la que tiene mayor superficie cosechada, sin embargo, esta superficie está reduciendo.

La superficie sembrada de cada cultivo no está determinada por el valor de la producción, sino por la calidad del agua. Se siembran cultivos forrajeros por la resistencia que tienen a la contaminación del agua, a la salinidad del suelo y porque no son cultivos que se consumen directamente.

El uso de agua residuales en el Distrito de Riego 003 Tula, Hidalgo, México, es un mecanismo para mitigar los impactos del cambio climático en la agricultura, como los son las sequías, la escasez de agua y la inseguridad alimentaria.

Es necesario elevar el nivel de tratamiento de aguas residuales para que se pueda ampliar el padrón de cultivos o se puedan sembrar cultivos de mayor valor y reducir los riesgos en la salud de los consumidores, productores y regadores; para reducir la infiltración de contaminantes en los acuíferos; y para reducir la contaminación de los suelos.

Sembrar cultivos de mayor valor en la producción pueden contribuir a mejores ingresos, que a su vez, mejor seguridad alimentaria, menor pobreza y mejores condiciones de vida para los pequeños y medianos productores de la región.

Se pueden buscar otras alternativas y combinarlas para obtener mejores resultados para mejorar la resiliencia climática; como la agricultura de conservación, usar fertilizantes y pesticidas ecológicos

REFERENCIAS

- Al-Ghazawi, Z., & Alawneh, R. (2021). Use of artificial neural network for predicting effluent quality parameters and enabling wastewater reuse for climate change resilience – A case from Jordan. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102423. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2021.102423>
- Alcon, F., Pedrero, F., Martin, J., Arcas, N., Alarcon, J. J., & De Miguel, M. D. (2010). The non-market value of reclaimed wastewater for use in agriculture: A contingent valuation approach. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(SUPPL. 2), 1–6. <https://doi.org/10.5424/sjar/201008s2-1361>
- Aznar, J. A., Belmonte, L. J., Velasco, J. F., & Manzano, F. (2018). Economic analysis of sustainable water use: A review of worldwide research. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1120–1132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.066>
- 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>
- Bakopoulou, S., Polyzos, S., & Kungolos, A. (2010). Investigation of farmers' willingness to pay for using recycled water for irrigation in Thessaly region, Greece. *Desalination*, 250(1), 329–334. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.051>
- Bouwer, H. (2000). Integrated water management: Emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, 45(3), 217–228. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00092-5)
- Caucci, S., & Hettiarachchi, H. (2022). *Wastewater irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: Solving a century-old problem with the Nexus approach* (Issue March). <https://doi.org/10.53325/drdq8710>
- Chávez, A., Rodas, K., Prado, B., Thompson, R., & Jiménez, B. (2012). An evaluation of the effects of changing wastewater irrigation regime for the production of alfalfa (*Medicago sativa*). *Agricultural Water Management*, 113, 76–84. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2012.06.021>
- Cisneros, O., & Saucedo, H. (2016). *Reúso de aguas residuales en la agricultura*. IMTA. <https://www.gob.mx/imta>
- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. (2020). *Plan de Riego para el año agrícola*

2020-2021. Dirección Local Hidalgo.

CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. (2023). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego*. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>

Contreras-Román, R. H. (2018). Volver a la tierra: Retorno migratorio y recampesinización forzada en el Valle del Mezquital, México. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 16(32), 16–32. <https://doi.org/10.15359/prne.16-32.3>

Durán, J. C., Jiménez, B., Rodríguez, M., & Prado, B. (2021). The Mezquital Valley from the perspective of the new Dryland Development Paradigm (DDP): Present and future challenges to achieve sustainable development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 48, 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.01.005>

Espira, L. M., Contreras, J. D., Felix-Arellano, E. E., Siebe, C., Mazari-Hiriart, M., Rios-Rodríguez, H., & Eisenberg, J. N. S. (2024). A comparative analysis of regional infection risk due to wastewater recontamination in the Mezquital Valley, Mexico. *Science of The Total Environment*, 919, 170615. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2024.170615>

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>

García-Salazar, E. M. (2019). El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estudios Sociales*, 29(54), 2–34. <https://doi.org/10.24836/es.v29i54.741>

Gleck, P. H. (2013). Una gota cae en el océano. *Finanzas & Desarrollo*, 50(3), 12–15. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2013/09/index.htm>

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>

Hernández-González, D. E., Muñoz-Iniestra, D. J., López-Galindo, F., & Hernández-Moreno, M. M. (2018). Impacto del uso de la tierra en la calidad del suelo en una zona semiárida del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 11(41–42), 792–807. <https://doi.org/10.22201/FESI.20072082.2018.11.65833>

Hughes, J., Cowper-Heays, K., Oleson, E., Bell, R., & Stroombergen, A. (2021). Impacts and implications of climate change on wastewater systems: A New Zealand perspective. *Climate Risk Management*, 31, 100262. <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2020.100262>

INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2024). *Índice Nacional de Precios*

al Consumidor (INPC). <https://www.inegi.org.mx/temas/inpc/#tabulados>

- Jiménez-Cisneros, B. E., Siebe, G. C., & Cifuentes, G. E. (2005). El reúso intencional y no intencional del agua en el Valle de Tula. In B. Jiménez & L. Marín (Eds.), *El agua en México vista desde la academia* (pp. 33–56). Academia Mexicana de Ciencias. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/12/El-agua-en-México-vista-desde-la-academia.pdf>
- Khalkhali, M., & Mo, W. (2020). The energy implication of climate change on urban wastewater systems. *Journal of Cleaner Production*, 267, 121905. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121905>
- Moncayo-Cassiano, V., Rivas-Lucero, B. A., Guerrero-Morales, S., Zúñiga-Avila, G., & Magaña-Magaña, J. E. (2017). Análisis de la movilidad de pesticidas en los suelos de la región centro-sur del estado de Chihuahua. *Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 5(2), 9–17. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v5i2.104>
- Ortega-Larrocea, M. P., Siebe, C., Bécard, G., Méndez, I., & Webster, R. (2001). Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of Mexico. *Applied Soil Ecology*, 16(2), 149–157. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00105-0](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00105-0)
- Pérez-Díaz, J. P., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Flores-Magdaleno, H., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., & Mancilla-Villa, O. R. (2019). Evaluación de la calidad del agua residual para el riego agrícola en Valle del Mezquital, Hidalgo. *Acta Universitaria*, 29, 1–21. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2117>
- Resende, M., Freitas, F. C., Aníbal, B., Martins, J., Duarte, A., Urban, A., Moreira Da Silva, M., Resende, F. C., Freitas, B., Aníbal, J., Martins, A., & Duarte, A. (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>
- 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>
- Trinh, L. T., Duong, C. C., Van Der Steen, P., & Lens, P. N. L. (2013). Exploring the potential for wastewater reuse in agriculture as a climate change adaptation measure for Can Tho City, Vietnam. *Agricultural Water Management*, 128, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.003>
- Ward, F. A., & Michelsen, A. (2002). The economic value of water in agriculture: Concepts and policy applications. *Water Policy*, 4(5), 423–446. [https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00039-9)
- Zhang, X.-N., Guo, Q.-P., Shen, X.-X., Yu, S.-W., & Qiu, G.-Y. (2015). Water quality, agricul-

ture and food safety in China: Current situation, trends, interdependencies, and management. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(11), 2365–2379. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61128-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61128-5)