



## ¿CÓMO AFECTA LA ESCASEZ DE AGUA A LA PRODUCCIÓN DE TUS ALIMENTOS Y QUÉ ESTRATEGIAS AGRÍCOLAS SE HAN IMPLEMENTADO PARA REDUCIR SU IMPACTO?

## ¿HOW DOES WATER SCARCITY AFFECT YOUR FOOD PRODUCTION AND WHAT AGRICULTURAL STRATEGIES HAVE BEEN IMPLEMENTED TO REDUCE ITS IMPACT?

Melo-Sabogal Diana Victoria <sup>1</sup>, Contreras-Medina Luis Miguel <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera a Chichimequillas, km 1 s/n, Amazcala, El Marqués, Qro. C.P. 76265

\* Autor de correspondencia, correo: [miguel.contreras@uaq.mx](mailto:miguel.contreras@uaq.mx)

### Resumen

El agua es el líquido de la vida; sin esta sustancia no sería posible nuestra existencia en el planeta tierra. En México, cerca del 70% del agua disponible para consumo humano es utilizada en la agricultura para la producción de alimentos; sin embargo, se desaprovecha alrededor del 60% debido a que la infraestructura de riego es obsoleta, está desgastada y presenta fugas; también porque se presentan pérdidas por evaporación del agua de riego presente en el suelo y al uso no eficiente de este recurso, es decir, que no se aprovecha totalmente el agua utilizada. Debido a lo anterior, se plantea dar a conocer la relación existente entre la escasez de agua y la producción de alimentos primarios, así como presentar las estrategias que se están empleando para enfrentar la escasez de agua en la agricultura. Algunas estrategias para afrontar la escasez hídrica en la agricultura son la obtención de plantas genéticamente modificadas como el maíz y trigo, que, aunque aún no tiene una amplia aceptación por parte de productores y consumidores, permite producir plantas con resistencia a la sequía, necesitando menor cantidad de agua para su producción; mejores prácticas agrícolas, como es el caso de la mejora de sistemas de riego que permita la reducción del agua utilizada, por ejemplo en cultivos de cebada y maíz; y el riego deficitario, el cual permite un ahorro de agua significativo para la producción de alimentos, que va del 26 hasta el 80 %, dependiendo del tipo de cultivo, pero del que no hay un consenso en los efectos negativos sobre la productividad. Estas estrategias abordadas de manera conjunta podrían mejorar la eficiencia en el uso del agua, y evitar desperdicios en el área agrícola.

Palabras clave: Agua, producción de alimentos, resistencia a sequía, riego deficitario, sequía

### Abstract

*Water is the liquid of life; without this substance, our existence on planet earth would not be possible. In Mexico, about 70% of the water available for human consumption is used in agriculture for food production; however, about 60% is wasted due to outdated, worn-out, and leaky irrigation infrastructure; also because there are losses due to evaporation of the irrigation water present in the soil and the non-efficient use of this resource, that is, the water used is not fully used. Due to the above, it is proposed to make known the relationship between water scarcity and primary food production, as well as to present the strategies that are being used to face water scarcity in agriculture. Some strategies to deal with water scarcity in agriculture are obtaining genetically modified plants such as corn and wheat, which, although not yet widely accepted by producers and consumers, make it possible to produce plants with resistance to drought, requiring less amount of water for their production; better agricultural practices, such as the improvement of irrigation systems that allow the reduction of the water used, for example in barley and corn crops; and deficit irrigation, which allows significant water savings for food production, ranging from 26 to 80%, depending on the type of crop, but for which there is no consensus on the negative effects on productivity. These strategies approached jointly could improve the efficiency in the use of water, and avoid waste in the agricultural area.*

*Keywords: Water, food production, drought resistance, deficit irrigation, drought*

## 1. Introducción

De acuerdo con estimaciones de las Naciones Unidas, la población mundial para el año 2022 es de 7.9 billones de personas, y se espera que este número aumente a 9.7 billones en el año 2050 (Worldometer, 2022). Ante un incremento poblacional cercano a 2.0 billones, la demanda de productos de origen agrícola, como es el caso de alimentos y fibras, tendrá aumento del 60-70 % (Collado, 2020). Debido a lo anterior, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la agricultura tendrá que incrementar la producción de alimentos en un 70 % en el 2050 para garantizar la seguridad alimentaria de la población (FAO, 2009), entendiéndose seguridad alimentaria como *“la situación que se da cuando todas las personas tienen acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias”* (FAO, 2020). Ante el panorama abordado previamente, el sector agrícola tiene el reto de incrementar el rendimiento de los cultivos y diversificar sus variedades (FAO, 2021); sin embargo, esto implica ejercer una mayor presión sobre los recursos agrícolas como el agua (FAO, 2009), requiriéndose un aumento del 15 % de las extracciones de este recurso (Bressa, 2021). El agua desempeña un papel primordial para la producción de alimentos de origen agrícola debido a que se usa para el riego, la aplicación de fertilizantes y de pesticidas en los cultivos (Pérez 2021). El agua y la seguridad alimentaria están directamente relacionadas, ya que la capacidad del sector agrícola para la producción de alimentos depende de la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades hídricas de las plantas (Conagua, 2021). De este modo, la agricultura utiliza el 70 % del total de agua dulce disponible para consumo humano a nivel mundial (1 %), lo que aumenta la competencia por el agua con los sectores urbano e industrial (FAO, 2009) y promueve su escasez, de allí que su uso para las labores agrícolas ha sido cuestionable (UNESCO, 2021).

Por su parte, la escasez de agua se define como una condición donde la demanda de agua, tanto por los seres humanos como los ecosistemas, excede su suministro (Kumari et al., 2021), o cuando la infraestructura

y capacidad institucional para garantizar a las personas un acceso equitativo a los recursos hídricos (agua para consumo y riego) son insuficientes (FAO, 2021). Según la FAO (2021), el balance hídrico del agua (cantidad de agua disponible y cantidad de agua consumida) está bajo presión, presentándose disminución del 20 % del agua dulce disponible para consumo humano durante los últimos veinte años, y estimándose un déficit hídrico del 40 % en el año 2030 (UNESCO, 2021).

Por otro lado, la escasez de agua, además de presentarse cuando hay la falta física de este recurso, también se presenta debido al deterioro progresivo de la calidad del agua (Van Vliet et al., 2017). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la calidad del agua se ha deteriorado como producto de la contaminación de la mayoría de los ríos en América, África y Asia, que se presenta principalmente por el uso de fertilizantes en la agricultura, los cuales aportan al suelo un exceso de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno, que al llegar a ríos o lagos provocan la aparición excesiva de materia orgánica (fango) y de algas o plantas verdes, lo que impide el paso de la luz solar necesaria para otras plantas, animales y microorganismos, además de resultar tóxico para el ecosistema (Zarza, s/f). Otro factor que provoca escasez hídrica es la erosión del suelo, como causa de la sobreexplotación de tierras agrícolas, deforestación y riego excesivo, lo que impide al suelo retener agua; lo anterior puede reducir hasta en un 50 % el rendimiento de los cultivos (FAO, 2019).

En la agricultura, la escasez de agua disminuye el rendimiento de los cultivos entre un 20 y 50 % (Shrivastava & Kumar, 2015), provocando un crecimiento desacelerado de la economía, de tal forma que, según el Banco Mundial (2021), en 2050, las tasas de crecimiento económico podrían disminuirse en un 6 % del PIB en regiones con escasez de agua. Por otro lado, a nivel mundial, la escasez de agua es una limitante para la producción de alimentos de origen agrícola (Muñoz, 2009) debido a que incrementa los riesgos para la producción por los volúmenes de agua necesarios para esta actividad, mismos que difieren según el producto; por ejemplo, para la producción de frutas y hortalizas como un tomate, una papa, una naranja y una manzana se requieren de 13, 25, 50 y 70 litros (L) de agua,

respectivamente (FAO, 2009). También, para producir un kilogramo de tomate, lechuga, papa, café, maíz, frijol y arroz, se utilizan 214, 237, 287, 1056, 1544, 4642 y 4890 L de agua, respectivamente; estos volúmenes equivalen desde 10.7 garrafones de 20 L hasta 244.5 garrafones (SIAP, 2013).

En México, la escasez de agua afecta al 40 % del país y se ha convertido en un factor limitante para la producción agrícola, debido a que en el país se destinan 3/4 partes del agua dulce para la agricultura (Comisión Nacional del Agua, 2019). Alrededor del 42 % de los mantos acuíferos (agua subterránea) en México no tienen agua disponible, debido a que su extracción excede un 10 % de la recarga de estos. Entre otros datos, durante el 2020, el agua disponible en las 210 presas nacionales disminuyó en un 30 %, pasando de 91,330 hectómetros cúbicos (hm<sup>3</sup>) de agua a 66,607 hm<sup>3</sup> (Carbajal, 2021), mientras que, para el 2021, se presentó una reducción del 55 % del nivel de agua. Lo anterior pone de manifiesto que, ante la escasez hídrica, la producción de alimentos de origen agrícola está en riesgo (FAO, 2021).

Ante esta problemática, instituciones públicas y privadas, así como centros de investigación han participado en el desarrollo de estrategias aplicadas al uso de agua en la agricultura que permitan garantizar la demanda de alimentos y la seguridad alimentaria de la población. Por lo tanto, en el presente artículo se abordará la relación entre la escasez de agua y la producción de alimentos de origen agrícola, así como las estrategias que se están empleando para enfrentar la insuficiencia de agua en la agricultura.

## 2. Uso del agua en la agricultura mexicana

¿La escasez de agua afecta la producción de los alimentos?, la respuesta a esta pregunta es un rotundo ¡sí!. El agua es un recurso natural finito que es usado por las plantas para el transporte de nutrientes desde el suelo; asimismo, el agua permite llevar a cabo procesos biológicos como la fotosíntesis, respiración y transpiración, que provocan el crecimiento y desarrollo de raíces, tallos, hojas, flores y frutos (Muñoz, 2009). Sin agua la sobrevivencia de las plantas se puede ver comprometida, y, con ello, la producción de alimentos provenientes del sector agrícola se ve amenazada, comprometiendo la seguridad alimentaria de la población.

El agua que consumimos a través de estos alimentos es obtenida de las lluvias o extraída de reservas hídricas, y ésta es aplicada al cultivo por técnicas de riego como goteo, aspersión e inundación. Actualmente, se evidencia escasez de agua porque la cantidad de precipitaciones o agua de lluvia es menor al límite extremo en zonas áridas (350 mm), por el desperdicio de cerca del 57 % del agua de riego debido a que la infraestructura con la que se cuenta está obsoleta o en mal estado (desgastada, rota y/o presenta fugas), así como a las pérdidas por infiltración y evaporación del agua almacenada para uso agrícola, mismas que ascienden a un 60 %, debido que cuando el agua llega al suelo (Maguey, 2018), esta puede infiltrarse o ingresar a capas del suelo muy profundas donde no puede ser aprovechada por las plantas, o puede evaporarse y pasar de la superficie del suelo a la atmósfera.

Por otra parte, tanto a nivel mundial como en nuestro país, la agricultura es la actividad que más contamina las fuentes hídricas, afectando directamente a los ecosistemas, el desarrollo económico y la seguridad alimentaria (FAO, 2021). Por ejemplo, el uso de fertilizantes sintéticos a base de nitrógeno o fósforo, ya que sus residuos son causantes de la eutrofización de las aguas dulces (exceso de nutrientes en el agua). La contaminación del agua también puede deberse al uso de plaguicidas como herbicidas e insecticidas, que son empleados para controlar o prevenir la aparición de plagas en los cultivos agrícolas; cuando estas sustancias químicas, nocivas para los seres vivos, llegan a ecosistemas acuáticos, pueden provocar la muerte de animales, plantas y microorganismos allí presentes, y ser nocivos para la salud humana (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2007). Debido a ello, el sector agrícola mexicano enfrenta el desafío de seguir ofreciendo los alimentos requeridos por la población sin comprometer los recursos hídricos con los que cuenta el país (Ochoa-Noriega y col, 2020). Ante este reto, se han estudiado algunas estrategias para hacer frente a la escasez de agua en la producción agrícola, las cuales permitan hacer más eficiente su uso, como es el caso del uso de plantas genéticamente modificadas, mejores prácticas agrícolas, y el régimen de riego deficitario. En las secciones 3-5 se abordará cada una de estas estrategias a partir de una revisión bibliográfica en bases de datos de organizaciones e instituciones nacionales e internacionales, así como en revistas científicas y de divulgación.

### 3. Plantas genéticamente modificadas

Es probable que en tus comidas hayas incluido algún alimento procedente de plantas genéticamente modificadas, y que no hayas percibido que lo fueran; esto se debe a que las modificaciones que sufren estas plantas se dan en su interior y generalmente no son visibles. Pero ¿qué quiere decir que las plantas han sido genéticamente modificadas?, tal vez parezca algo complejo, pero básicamente se trata de que científicos expertos insertan uno o más genes de un organismo (planta, bacteria, hongo) en una planta para que esta tenga una característica nueva; por ejemplo, que resista al ataque de insectos y virus, tolere la presencia de herbicidas, tenga mayor contenido nutricional, soporte mejor las temperaturas extremas y la escasez de agua, entre otras.

La modificación genética de plantas es una estrategia prometedora para aumentar la tolerancia a condiciones de sequía provocada por la escasez de agua, a través de la expresión y/o regulación de genes relacionadas con la sequía; lo anterior podría reducir la incidencia de este tipo de estrés ambiental sobre el crecimiento de las plantas (aumento del número y volumen celular) y mejorar el rendimiento de los cultivos (productividad), con la finalidad de mantener la producción de alimentos demandada (Khan y col, 2019). En México se ha autorizado la producción comercial de algunos organismos genéticamente modificados, entre los que se encuentran el algodón, soya, trigo, alfalfa, papa, tomate, betabel, canola y maíz (García y col, 2018); sin embargo, el Gobierno Nacional prohibió recientemente la siembra de maíz genéticamente modificado a partir del 2024 (DOF, 2020). Aunque la mayoría de los cultivos mencionados previamente han sido modificados para otorgar tolerancia a herbicidas como el glifosato y resistencia a insectos; también se han modificado plantas de trigo y maíz para inducir tolerancia a la sequía (García y col, 2018). En ese sentido, en el año 2004, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) desarrolló y sembró en México (Sede Centro en Texcoco) trigo tolerante a la sequía, insertando el gen DRREB1A de la planta de *Arabidopsis thaliana* (CIMMYT, 2012). Por su parte, científicos del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional desarrollaron a nivel laboratorio una variedad de maíz genéticamente modificado que, al probarla en un

campo piloto ubicado en Sinaloa, mostró tolerancia a la sequía y presentó mejoras en el crecimiento, floración y grano que las plantas no modificadas (Agreda-Laguna y col, 2018; CINVESTAV, 2018). Con relación a otros cultivos, Investigadores de la Universidad Autónoma de Querétaro aumentaron la tolerancia a la sequía en plantas de *Arabidopsis thaliana* modificadas genéticamente con la clonación del gen LEA obtenido de plantas de Chile, donde encontraron que los niveles de transpiración (evaporación o pérdida de agua de la plantas a través de las hojas) en estas plantas fueron más bajos que en plantas no modificadas, lo que sugiere una mejora en el uso eficiente del agua (Acosta-García y col, 2015).

Según CINVESTAV, el mejoramiento genético es una estrategia relevante para el ahorro de agua, así como para contrarrestar el problema de la escasez de esta sustancia en el país (Gutiérrez y col., 2015). Sin embargo, la implementación de esta estrategia en el campo aumenta los costos de producción debido a la compra de insumos, fertilizantes y herbicidas que producen las mismas empresas que venden las semillas modificadas genéticamente, y aún no ha tenido aceptación por parte de los agricultores (Larach, 2001). Además, su implementación depende de evaluar su nivel de seguridad para la salud humana y el nivel de aceptación, es decir, disposición de adquirir estos productos por parte los productores y consumidores a nivel local y mundial (Liang, 2016).

### 4. Prácticas culturales en la agricultura

Otra estrategia para hacer frente al problema de la escasez de agua en la agricultura, a nivel nacional e internacional, es la selección de adecuadas prácticas culturales. En la agricultura, las prácticas culturales hacen referencia a un conjunto de acciones, medidas, técnicas o métodos orientados a mejorar la productividad agrícola a través de la conservación del suelo y el agua, y mediante la reducción de plagas, enfermedades y malezas, sin uso de sustancias químicas de origen sintético, para proteger, además, tanto la salud humana como el medio ambiente. Algunas de estas prácticas son las podas, deshierbe, cultivos intercalados, rotación de cultivos, uso de abono orgánico, etc. (NCZOO, 2019).

Hay una serie de prácticas culturales recomendadas por la FAO y otras organizaciones del sector agrícola para la conservación del agua destinada para la agricultura, como la captación, almacenamiento y utilización del agua de lluvia, y el uso eficiente de riegos, evitando el derrame de agua mediante la mejora y tecnificación de las instalaciones de riego, así como la conservación del suelo mediante la no quema y la incorporación de rastrojos para tener la humedad en el suelo (Martínez, 2013). Entre estas prácticas se encuentran la elección de un sistema de riego basado en las necesidades del cultivo, y que reduzca el desperdicio de agua (por ejemplo, el riego por aspersión o por goteo); el riego por aspersión consiste suministrar el agua al suelo mediante pulverizadores o aspersores de manera similar a la lluvia, con lo cual el agua se infiltra al suelo sin producir escurrimientos, mientras que en el riego por goteo, el agua y los nutrientes se adicionan al suelo gota a gota, siendo eficiente para el ahorro de agua ya que se suministra la cantidad necesaria para cada planta (SIAP, 2018).

Otra estrategia es la programación de los riegos, es decir cuánto y cuándo regar para obtener una mayor eficiencia en el uso del agua, y con ello reducir el exceso de humedad en el suelo y evitar desperdicio de agua por evaporación (regando, por ejemplo, a primeras horas de la mañana o del anochecer) (Intagri, s/f). También, se propone reducir al mínimo necesario el uso de fertilizantes y pesticidas, ya que estos deterioran la calidad del suelo y del agua (FAO, 2018). Por otro lado, una práctica cultural que ayuda a enfrentar escasez de agua y a promover un mejor uso del agua es el aprovechamiento del agua de lluvias para el riego de los cultivos (FAO, 2003).

Un caso de estudio de este tipo de prácticas se desarrolló en Irapuato por parte de investigadores de la Universidad de Guanajuato, como acciones del proyecto titulado “Cultivando un México Mejor”, de HEINEKEN México y CIMMYT. Los investigadores evaluaron la eficiencia en el uso del agua en cultivos de maíz amarillo y cebada bajo dos tipos de riego (por superficie o por gravedad, y por goteo) y encontraron que la tecnificación del riego (gotero) tiene un buen potencial de ahorro de agua, mejorando la eficiencia del uso del agua, requiriendo menos litros de agua para producir un

kilogramo de grano, requiriéndose 870 m<sup>3</sup>/ha en riego por goteo y 1577 m<sup>3</sup>/ha en riego superficial (Flores, 2021).

Algunos entes gubernamentales como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA) han promovido programas económicos y de capacitación para apoyar a los productores en la ejecución de las prácticas previamente mencionadas (Gutiérrez y col., 2015); sin embargo, aún resulta compleja su aplicación debido a que en México se carece de una estrategia integral donde se definan las acciones específicas para la conservación tanto del recurso hídrico como del suelo para fines agrícolas. Por otro lado, también se presenta la problemática del desconocimiento por parte de los agricultores acerca de las necesidades de agua para los cultivos, de las técnicas de riego y del manejo de fertilizantes. También suman a esta problemática la baja concientización de los problemas de escasez de agua, es decir, muchas veces la gente no percibe la importancia del agua y los efectos que la escasez de esta tiene.

## 5. Riego deficitario

¿Crees que todas las plantas necesitan la misma cantidad de agua para vivir?, la realidad es que no, cada tipo de planta tiene un requerimiento diferente de agua; de hecho, ese requerimiento varía de acuerdo con la etapa de crecimiento en la que se encuentre la planta. La cantidad de agua que necesita un cultivo depende de qué tanta agua se evapora del suelo en conjunto con el agua que transpiran las plantas del cultivo, lo que se conoce como evapotranspiración (Méndez-Vázquez y col., 2021); bajo este concepto se desarrolló otra estrategia para el manejo de los recursos hídricos destinados a la agricultura, conocida con el nombre de riego deficitario.

El riego deficitario consiste en suministrar una cantidad de agua menor a la de evapotranspiración del cultivo, lo que se traduce en ahorro de agua. Esta estrategia ha permitido el ahorro de agua para el riego de las plantas, según el cultivo, por ejemplo, en cultivos de tomate permitió un ahorro de agua del 80 % (Coyago-Cruz et al., 2019), en la vid fue de 30 al 50 % (Kovalenko y col., 2021), mientras que en cultivos de pera el ahorro



fue del 26 al 73 % [Vélez-Sánchez et al., 2021]

El déficit hídrico es una estrategia también utilizada en diversos cultivos en México, como el de tomate y almendra; sin embargo, aún se desconoce cómo responden las plantas a esas reducidas cantidades de agua. Además, se tiene poca información acerca de si esta práctica mejora la productividad de los cultivos, y hasta qué punto es posible llevar esa reducción de agua del riego sin provocar un efecto negativo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas [Méndez-

Vázquez y col., 2021], ya que se ha reportado que con la carencia de agua también se pueden afectar los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis, transpiración, respiración), lo que puede afectar el rendimiento de los cultivos [Schaible & Aillery, 2017].

Con base en lo descrito previamente, se presentan de manera resumida las ventajas y desventajas de las estrategias estudiadas para enfrentar la escasez de agua en la producción agrícola de los alimentos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Estrategias para enfrentar la escasez de agua en el campo agrícola.

Estrategia	Ventajas	Desventajas
Plantas genéticamente modificadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor resistencia a la sequía</li> <li>• Aumento del crecimiento de las plantas y de la productividad</li> <li>• Contribución a la seguridad alimentaria de la población</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de inversión económica por parte del productor en la compra de semillas que no puede conservar, así como plaguicidas específicos para ese cultivo modificado genéticamente</li> <li>• Es un tema que sigue causando controversia social, ya que algunas personas consideran que estos productos son dañinos para la salud humana, animal y para el ambiente</li> <li>• Se necesita la implementación de campañas para la divulgación de la evidencia científica que demuestra que son seguros, para su aceptación por parte de agricultores y consumidores</li> </ul>
Prácticas culturales en la agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorro de agua al evitar pérdidas por evaporación o filtración</li> <li>• Puede mejorar la eficiencia en el uso del agua, dependiendo del cultivo</li> <li>• Menor uso de fertilizantes y plaguicidas, reduciendo el impacto ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere inversión económica para la tecnificación de las labores agrícolas, como el riego, donde se requieren \$1'263,250 MX para adecuar un sistema de riego por goteo en un campo de 10 ha, fuera de los costos generados por mantenimientos posteriores a su instalación [Flores, 2021]</li> <li>• Desconocimiento del agricultor de las necesidades hídricas de los cultivos, técnicas de riego y de fertilización</li> </ul>
Riego deficitario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorro de agua y uso eficiente del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controversia en los resultados acerca de efectos negativos sobre la fisiología de las plantas (los procesos químicos y físicos para la vida vegetal) y sobre el rendimiento de los cultivos</li> </ul>

## 6. Conclusiones

La escasez de agua es un problema que nos involucra a todos, ya que cada día una persona necesita alrededor de 100 L de agua para satisfacer sus necesidades hídricas de consumo e higiene, además de que, como se mencionó previamente, el agua es fundamental para la producción de los alimentos que consumimos. La agricultura utiliza alrededor de tres cuartas partes del agua dulce disponible para consumo humano, pero la disponibilidad de este recurso es cada vez menor, previéndose una carencia del 40 % de agua en la siguiente década.

Aunque actualmente se desarrollan y aplican diversas estrategias para ahorrar agua y usarla de manera eficiente en la producción agrícola, tales como el uso de plantas genéticamente modificadas tolerantes a bajas condiciones de humedad del suelo, mejora de sistemas de riego y prácticas culturales, y el uso volúmenes de agua por debajo de las necesidades hídricas de los cultivos de manera controlada, aún persiste la problemática de la escasez de agua en el campo y el desaprovechamiento de esta. Debido a lo anterior, se identifica la necesidad de realizar más investigaciones para cada una de estas estrategias, donde se evalúen los impactos ambientales y económicos a los que estas prácticas conllevan, y si realmente se da solución a las problemáticas planteadas, o si es necesario abordar todas estas estrategias en conjunto como una alternativa para el ahorro de agua, y que permita que su escasez no sea un factor limitante para la producción de alimentos. Finalmente, aunque no seamos actores directos en el sector agrícola, que es el que consume la mayor cantidad de agua, es necesario cuidar el agua en nuestro quehacer diario; esto lo podemos lograr evitando su desperdicio, implementando acciones para ahorrar dicho recurso. Esto permitirá que el agua continúe disponible para nosotros, generaciones futuras, animales y plantas, ya que nuestra vida depende de este recurso.

## 7. Referencias bibliográficas

- Acosta-García, G., Chapa-Oliver, A. M., Millán-Almaraz, J. R., Guevara-González, R. G., Cortez-Baheza, E., Rangel-Cano, R. M., ... & Torres-Pacheco, I. (2015). CaLEA 73 gene from *Capsicum annuum* L. enhances drought and osmotic tolerance modulating transpiration rate in transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Canadian Journal of Plant Science*, 95(2), 227-235.
- Agreda-Laguna, K. A., Cabrera-Ponce, J. L., Medrano, R. R., Garzon-Tiznado, J. A., & Xoconostle-Cazares, B. (2018). Trehalose accumulation provides drought tolerance to genetically-modified maize in open field trials. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 55(4).
- Banco Mundial (2021). *Agua. Panorama general*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1>
- Bressa, R. (2021). Escasez de agua: 6 formas de reducir el consumo de agua en la agricultura. <https://www.foodunfolded.com/es/articulo/escasez-de-agua-6-formas-de-reducir-el-consumo-de-agua-en-la-agricultura>
- Carbajal, B. (2021). Escasez de agua limitará producción agrícola en 2021. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/01/06/economia/escasez-de-agua-limitara-produccion-agricola-en-2021/>
- CIMMYT. (2012). In Quest for Drought-Tolerant Varieties, CIMMYT Sows First Transgenic Wheat Field Trials in Mexico.
- CINVESTAV. (2018). Maíz híbrido resistente a sequías y bajas temperaturas. <https://conexion.cinvestav.mx/Publicaciones/ma237z-h237brido-resistente-a-sequ237as-y-bajas-temperaturas>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Usos del agua*. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>
- Collado, A. (2020). La agricultura del futuro: cambios y desafíos. Comisión Económica para América Latina

- y el Caribe (CEPAL). <https://comunidades.cepal.org/ilpes/es/grupos/discusion/la-agricultura-del-futuro-cambios-y-desafios>
- Coyago-Cruz, E., Meléndez-Martínez, A. J., Moriana, A., Girón, I. F., Martín-Palomo, M. J., Galindo, A., Pérez-López, D., Torrecillas, A., Beltrán-Sinchiguano, E., & Corell, M. (2019). Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. *Agricultural Water Management*, 213, 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.020>
- Diario Oficial Mexicano (DOF). (2020). *Decreto por el que se establecen las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos utilizados en nuestro país que lo contienen como ingrediente activo, por alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente. Decreto de 21-12-2020*. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020)
- FAO. (1996). Cumbre Mundial sobre la Alimentación 13-17 de Noviembre 1996 Roma Italia. [http://www.fao.org/wfs/index\\_es.htm](http://www.fao.org/wfs/index_es.htm)
- FAO. (2003). Enfoques/2003. *Incrementar la productividad del agua*. <https://www.fao.org/ag/esp/revista/0303sp2.htm>
- FAO. (2009). *How much water is needed to produce...?* Water Resources.
- FAO. (2009), "La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050", en *Cómo alimentar al mundo en 2050*, Secretaría del Foro de Alto Nivel de Expertos, Italia, Roma, pp. 28. [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis\\_papers/C%3%B3mo\\_alimentar\\_al\\_mundo\\_en\\_2050.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/synthesis_papers/C%3%B3mo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf)
- FAO. (2017). *Escasez de agua: Uno de los grandes retos de nuestro tiempo*. <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/880888/>
- FAO. (2017). The future of food and agriculture-Trends and challenges. *Annual Report*, 296, 1-180.
- FAO. (2018). Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta. <https://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1141955/>
- FAO. (2019). Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo. <https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/about-the-symposium/es/>
- FAO. (2020). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020. Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb1447es>
- FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- FAO. (2021). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura - Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>
- Flores G., Álvaro. (2021). Investigan cómo ahorrar agua con prácticas agrícolas sustentables. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <https://idp.cimmyt.org/investigacion-como-ahorrar-agua-con-practicas-agricolas-sustentables/>
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental. (2007). Contaminación del agua por plaguicidas. <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-plaguicidas/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20agua%20por,el%20balance%20de%20algunos%20ecosistemas.>
- Forbes. (2021). *La sequía golpea al agro mexicano y anticipa una menor producción*.
- Gutiérrez, D., Ruíz, R., y Xoconostle, B. (2015). *Estado actual de los cultivos genéticamente modificados en México y su contexto internacional*. <https://conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/publicaciones/Estado-actual-de-los-cultivos.pdf>
- Infoagro. (2020). *Alimentos transgénicos en México*. <https://mexico.infoagro.com/alimentos-transgenicos-en-mexico/>
- Intagri. (s/f). El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>



- Khan, S., Anwar, S., Yu, S., Sun, M., Yang, Z., & Gao, Z. Q. (2019). Development of Drought-Tolerant Transgenic Wheat: Achievements and Limitations. *International journal of molecular sciences*, 20(13), 3350. <https://doi.org/10.3390/ijms20133350>
- Kovalenko, Y., Tindjau, R., Madilao, L. L., & Castellarin, S. D. (2021). Regulated deficit irrigation strategies affect the terpene accumulation in Gewürztraminer (*Vitis vinifera* L.) grapes grown in the Okanagan Valley. *Food Chemistry*, 341, 128172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128172>
- Kumari, U., Swamy, K., Gupta, A., Karri, R. R., & Meikap, B. C. (2021). Global water challenge and future perspective. In *Green Technologies for the Defluoridation of Water* (pp. 197-212). Elsevier.
- Larach, M. A. (2001). *El comercio de los productos transgénicos: el estado del debate internacional*. CEPAL.
- Liang, C. (2016). Genetically modified crops with drought tolerance: achievements, challenges, and perspectives. In *Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 2* (pp. 531-547). Springer, Cham.
- Maguey, H. (2018). *Crisis del agua*. Más de 80% Del Agua Se va En Uso Agrícola y de La Industria. <https://www.gaceta.unam.mx/crisis-agua-industria/>
- Martínez, M. (2013). Tecnologías para el uso sostenible del agua. *Tegucigalpa*: FAO.
- Méndez-Vázquez, J. R., Benavides-Mendoza, A., y González-Morales, S. (2021). Efecto del riego deficitario en la acumulación de compuestos antioxidantes en plantas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1-9. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2822>
- Muñoz, F. (2009). Importancia del agua en la nutrición de cultivos. *Carta Trimestral. Cenicaña*, 31, 16-18. [https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_4/mod\\_virtuales/modulo2/5.pdf](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_4/mod_virtuales/modulo2/5.pdf)
- North Carolina Zoo (NCZOO). (2019). Cultural practices of conserving water and soil in sustainable agriculture. 1st Term Teacher Training Manual. <https://www.nczoo.org/sites/default/files/2020-09/Term-1-Cultural-practices-field-trip-management.pdf>
- Ochoa-Noriega, C. A., Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., y Álvarez-Bejar, A. (2020). The Use of Water in Agriculture in Mexico and Its Sustainable Management: A Bibliometric Review. *Agronomy*, 10(1957).
- Pérez, R. (2021). *El agua en la agricultura: importancia y manejo*. <https://www.iagua.es/blogs/ricardo-perez/agua-agricultura-importancia-y-manejo>
- Schaible, G. D., & Aillery, M. P. (2017). Challenges for US Irrigated Agriculture in the Face of Emerging Demands and Climate Change. In J. R. Ziolkowska & J. M. B. T.-C. for W. R. Peterson (Eds.), *Competition for Water Resources. Experiences and Management Approaches in the US and Europe* (pp. 44-79). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803237-4.00004-5>
- SIAP. (2013). *Uso del agua en México. Boletín semanal del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA*. <http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/013-e.html>
- SIAP. (2018). *En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/articulos/en-la-agricultura-los-sistemas-de-riego-son-utilizados-para-un-aprovechamiento-optimo-del-agua?idiom=es>
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Van Vliet, M. T. H., Flörke, M. y Wada, Y. 2017. Quality matters for water scarcity. *Nature Geoscience*, Vol. 10, Pp 800-802. [doi.org/10.1038/ngeo3047](https://doi.org/10.1038/ngeo3047)
- Vélez-Sánchez, J. E., Balaguera-López, H. E., & Alvarez-Herrera, J. G. (2021). Effect of regulated deficit irrigation (RDI) on the production and quality of pear Triunfo de Viena variety under tropical conditions. *Scientia Horticulturae*, 278, 109880. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109880>
- Zarza (s/f). ¿Qué es la eutrofización?. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-eutrofizacion>
- Worldometer (2022). Población mundial. <https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial/#ref-1>