AGUA, RECURSO VITAL EN MÉXICO

Gamaliel Peralta Fernández

Licenciatura en Biotecnología, Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

*Correo de autor de correspondencia: gamaliel.peraltafernandez@viep.com.mx

Introducción

El agua y México

México, un país de gran diversidad natural gracias a su geografía y relieve, ha tenido una relación compleja con el agua desde la época prehispánica (Jiménez, 2014). Los antiguos mesoamericanos, conscientes de su riqueza natural, enfrentaban desafíos con el agua, alternando entre la escasez en tiempos de sequía y el peligro de exceso durante las lluvias (Broda, 2016). Esta dualidad llevó al culto de deidades como Tlaloc, el dios de la lluvia mexica, cuyos rituales buscaban influir en el clima para la agricultura (Broda, 2016; Martínez, 2008).

Con la Conquista española, muchos rituales indígenas se perdieron, pero algunos persistieron, especialmente aquellos vinculados a la agricultura (Martínez, 2008). Las prácticas agrícolas indígenas, que comenzaban con las primeras lluvias y el sol en el cenit, se mezclaron con las ceremonias católicas impuestas, sobreviviendo en tradiciones como la Fiesta de la Santa Cruz (3 de mayo) (Broda, 2016; Martínez, 2008).

Hoy en día, el agua sigue siendo un recurso vital en México, esencial para la salud y el bienestar socioeconómico (Rojas-Rueda y Serrano-Farías, 2024; Simental-Franco, 2024). Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021, aunque el 95.3% de los hogares en México tienen conexión al agua potable, el 16.3% experimentó inseguridad en relación con el agua, a pesar de su reconocimiento constitucional (Simental-Franco, 2024).

Desarrollo

Agua, origen de vida

El agua, esencial para la vida, está compuesta por 2 átomos de hidrógeno y 1 átomo de oxígeno y abarca aproximadamente 1.400 millones de km³ en la Tierra, presentándose en estados líquido, sólido y gaseoso (Guerrero-Legarreta, 2012; Galvín, 2008). De esta vasta cantidad, solo el 3% es agua dulce (Galvín, 2008).

El agua no solo es común en la vida cotidiana, sino que también jugó un papel crucial en el origen de la vida. Hace millones de años, cuando la Tierra se enfriaba, el vapor de agua se condensó y cayó como lluvia, formando los océanos primitivos que cubrían gran parte del planeta (Negrón-Mendoza et al., 2004; Aragón de la Cruz, 2003). Estos océanos sirvieron como el entorno ideal para el inicio de la vida, según la teoría de la evolución química propuesta por Alexander Oparin y John B.S. Haldane (Negrón-Mendoza et al., 2004; Aragón de la Cruz, 2003). En este ambiente prebiótico, la energía transformó moléculas simples en compuestos biológicos complejos, que eventualmente se convirtieron en los precursores de componentes vitales como proteínas y ácidos nucleicos (Negrón-Mendoza et al., 2004; Aragón de la Cruz, 2003).

El agua y las plantas

El agua es fundamental para las plantas, no solo para sus funciones fisiológicas sino también para mantener su estructura. Una vez que el agua es absorbida por las raíces, es distribuida a través del xilema y el floema a todas las partes de la planta, manteniendo la presión de turgencia que da rigidez y forma (Scharwies, 2019; Oliva, 2018).

Durante la evolución, algunas plantas desarrollaron estrategias adaptativas para sobrevivir a condiciones extremas, como desiertos, tundra o pantanos (Villalobos-López, 2022). Hablemos de las plantas efímeras, anuales, con un ciclo de vida corto que les permite crecer, desarrollarse y formar semillas durante la temporada de lluvias (Valladares, 2004). Así también tenemos las familias de plantas *Cactaceae* y *Agavaceae* que han desarrollado una estrategia de supervivencia que incluye espigas como hojas modificadas, un sistema radicular largo para captar la mayor cantidad de agua, tallos y hojas protegidos por una gruesa cutícula cerosa y un sistema de fotosíntesis adaptado con estomas cerrados, manteniéndose como reservorios de agua (Valladares, 2004). Por último, existen las plantas verdaderamente tolerantes a la desecación, plantas de resurrección, un ejemplo, la Rosa de Jericó (*Selaginella lepidophylla*), planta nativa del Desierto de Chihuahua (Vargas, 2009). Estas pueden sobrevivir largos períodos, incluso décadas, sin agua y reiniciar su metabolismo y crecimiento en pocas horas de estar en contacto con agua (Villalobos-López, 2022; Valladares, 2004; Vargas, 2009).

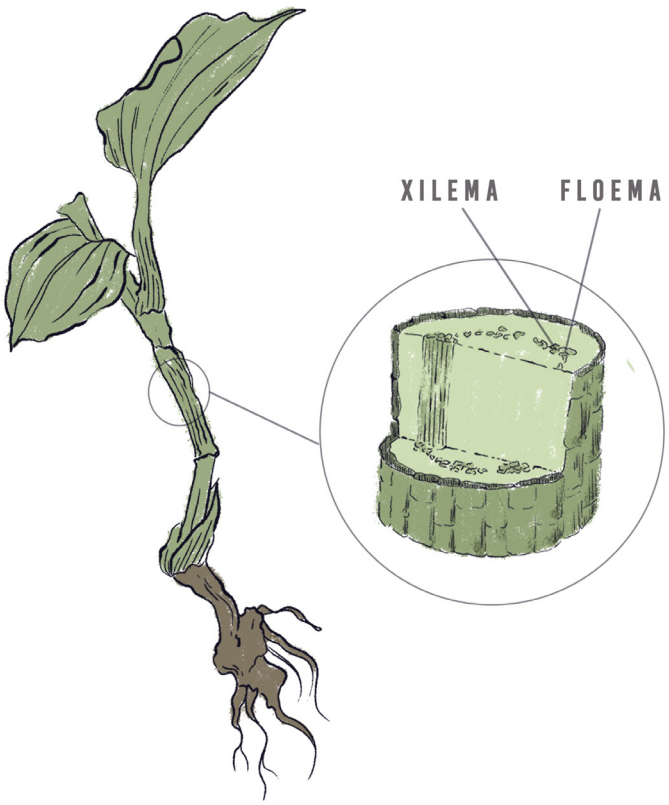


Figura 1. Estructura y partes que distribuyen el agua a todas partes de la planta. *Commelina erecta*, ilustración por Sharine Michel Durán Timal (2024).

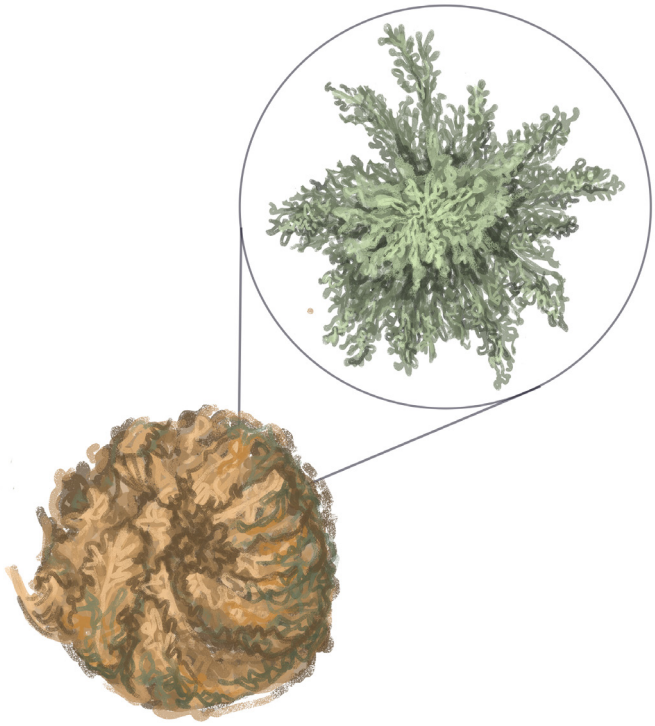


Figura 2. Rosa de Jericó (*Selaginella lepidophylla*), crecimiento al contacto con el agua. Ilustración por Sharine Michel Durán Timal (2024).

Cada planta que existe en nuestro planeta se ha adaptado a lo largo de miles de años a un nicho específico, aunque debido al cambio climático causado por la humanidad, se está elevando peligrosa y rápidamente la temperatura de la Tierra (Villalobos-López, 2022). Cambiando la distribución geográfica de las especies y la composición de las comunidades vegetales, puesto que existen plantas adaptadas a las nuevas temperaturas y condiciones que otras aún no (Valladares, 2004).

Agua y escasez

La sequía, definida por un período prolongado de aridez que desequilibra el ciclo hidrológico, varía en su clasificación según la disciplina encargada de su estudio. Una sequía meteorológica se refiere a cualquier período con un déficit anormal de precipitación. La sequía agrícola afecta la humedad del suelo y, por lo tanto, incide en la producción de cultivos y el funcionamiento general de los ecosistemas (Valladares, 2004). En México, las sequías impactan significativamente la agricultura y la ganadería Velasco-Hernández et al., 2024). La vulnerabilidad ante la sequía está relacionada no solo con la duración y la cobertura geográfica del evento, sino también con la capacidad de la sociedad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse de sus efectos Velasco-Hernández et al., 2024).

La Ciudad de México enfrenta una alarmante escasez de agua, debido a la alta demanda y al agotamiento de sus fuentes de abastecimiento. Debido a esto, la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) implementó el programa "Cosecha de Lluvia" como una solución para garantizar el acceso seguro de agua en la vivienda (Gómez-Nava et al., 2023). Hemos sido testigos de un incremento en la desertificación y en la variabilidad del clima a partir de la segunda mitad del siglo XX, que podría considerarse más extrema en la actualidad (Velasco-Hernández et al., 2024). En esas fechas, la implementación de planes y programas gubernamentales en México se centraron en la construcción de grandes presas para una economía que era en aquellos tiempos predominantemente agrícola (Velasco-Hernández et al., 2024; Domínguez, 2016).

Biotecnología vs. sequía

La biotecnología ofrece soluciones prometedoras para combatir la sequía a través de diferentes alternativas. Se han aislado y estudiado microorganismos presentes en la rizosfera (la región del suelo alrededor de las raíces de las plantas). Estos desempeñan un papel crucial en el crecimiento y el rendimiento de las plantas, también contribuyen a la resistencia al estrés abiótico al mejorar la absorción de agua y nutrientes, así como la optimización en el uso del agua (Cortés-Moreno, 2016; Levitus, 2010).

También existe la modificación de especies. Hace unos 1200 años, los seres humanos comenzaron a domesticar cul-

tivos importantes, seleccionando rasgos deseados de manera empírica. Posteriormente, hace 200 años, el fitomejoramiento comenzó a utilizarse de manera más sistemática para mejorar los rendimientos y seleccionar características específicas (Cortés-Moreno, 2016; Levitus, 2010). Para 1960, la Revolución Verde aumentó la producción agrícola mediante la obtención de nuevos cereales de alto rendimiento (Cortés-Moreno, 2016).

Actualmente, se han logrado avances significativos en el desarrollo de variedades de plantas genéticamente modificadas que pueden crecer con menos agua o en condiciones de temperaturas extremas (Levitus, 2010).

Para tolerar la sequía, de acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA), se recomienda utilizar variedades vegetales resistentes a la sequía. Así también, implementar técnicas agrícolas y pecuarias para aprovechar el agua de las precipitaciones y mantener la humedad en los suelos. Por ejemplo, el Sistema de Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) es una técnica que puede ayudar a mejorar la productividad en condiciones de sequía (Velasco-Hernández et al., 2024; Gómez-Nava et al., 2023).

Conclusión

El agua, siendo el componente más abundante en células y organismos, es crucial desde el nivel celular hasta los ecosistemas y la salud humana. Sus propiedades, como la capacidad disolvente y la alta tensión superficial, son esenciales para procesos biológicos como la fotosíntesis, donde las plantas transforman la luz solar en energía.

Las plantas han evolucionado para resistir el estrés hídrico, desarrollando mecanismos como el cierre de estomas y cambios genéticos. Por lo mismo, el desarrollo de plantas tolerantes a la falta de agua ha sido muy importante.

Con poblaciones en zonas marginales dependiendo de fuentes de agua no confiables, es vital trabajar en soluciones que aseguren tanto la disponibilidad como la calidad del agua. Esto incluye optimizar el uso del agua en agricultura, mejorar especies para la seguridad alimentaria y un compromiso conjunto de autoridades y sociedad para garantizar un acceso justo y seguro al agua para todos.

Referencias

Aragón de la Cruz, F. (2003). El origen de la vida en la Tierra. Llull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, 26(55), 11-34.

Broda, J. (2016). *El agua en la cosmovisión de Mesoamérica.* Agua en la Cosmovisión de los Pueblos Indígenas en México, 13-28.

Cortés-Moreno, S. M., y Escobar-Gil, G. I. (2016). Las modificaciones genéticas, su historia e implicaciones éticas en el campo científico contemporáneo. *Revista de Educación en Biología*, 19(2), pp-13.

Domínguez, J. (2016). *Revisión histórica de las sequías en México: de la explicación divina a la incorporación de la ciencia.* Tecnología y ciencias del agua, 7(5), 77-93.

Marín Galvín, R. (2008). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas.* España: EMACSA.

Gómez-Nava, M. J., Lozano-Quiroz, M. F., Ortega-Andeane, P. y Estrada-Rodríguez, C. (2023). La cosecha de la lluvia y su aceptación en la Ciudad de México. Prácticas socioculturales en torno a la gestión del agua. En: Prácticas socioculturales en torno a la gestión del agua. *Impluvium*, Publicación digital de la Red del Agua UNAM. Pp, 70-75.

Guerrero-Legarreta, M. (2012). El agua. La Ciencia para todos, vol. 2. Colección Fondo de Cultura Económica. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/06/el-agua-manuel-guerrero.pdf

Jiménez Sierra, C. L., Sosa Ramírez, J., Cortés Calva, P., Solís Cámara, A. B., Íñiguez Dávalos, L. I., & Ortega Rubio, A. (2014). *México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas.* Investigación y ciencia-Universidad Autónoma de Aguascalientes, (60), 16-22.

Levitus, G., Echenique, V., Rubinstein, C., Hopp, E., & Mroginski, L. (2010). *Biotecnología y mejoramiento vegetal II.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, 258, 650.

Martínez, R., Morett, L., & Viñas-Vallverdú, R. (2008). *El Abrigo Tlaloc: análisis e interpretación de un conjunto upestre destinado al dios de la llu-*

via y la agricultura (Ticumán, México).

Negrón-Mendoza, A., Ramos-Bernal, S. y Mosqueira, F. G. (2004). *Evolución química y el origen de la vida.* Educación química, 15(4e), 328-334.

Oliva-Carrasco, L. (2018). *Transporte de agua en plantas.* El balance hídrico en tallos de árboles nativos del norte de Argentina: uso e importancia de los reservorios internos de agua (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

Rojas-Rueda, A. y Serrano-Farías, É. R. (2024). Capítulo 2. *El agua como mercancía en el sistema jurídico mexicano.* En: *Instrumentos económicos de política hídrica en México. Valor, mercado y bancos de agua. Algunas consideraciones clave para la sustentabilidad hídrica.* pp. 29-55.

Scharwies, J. D., & Dinneny, J. R. (2019). *Transporte, percepción y respuesta del agua en las plantas.* Revista de investigación vegetal, 132(3), 311–324.

Simental-Franco, V. A., & Ortega-Laurel, C. (2024). *El agua, ¿derecho humano o mercancía?, análisis del régimen jurídico aplicable en México.* Tecnología y ciencias del agua, 15(1), 409-439.

Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J. J., Corcuera, L., Sisó, S. & Gil-Pelegrín, E. (2004). *Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía.* Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, 2, 165-192.

Vargas, M., Rocha, M., Iturriaga, P., Jiménez, S., & Bertozzi, G. (2009). *Estudio del estrés abiótico de la planta de "resurrección" Selaginella lepidophylla.* Colegio Marymount.

Velasco-Hernández, M. Á, Ascencio-López, W. J., Neri-Suárez, M., Hernández-Espinosa, M. Á., Guevara-Espinosa, M. D. , y Salgado-Villavicencio, E. (2024). Tendencias de sequía extrema en Puebla: índices climáticos y socioeconómicos con implicaciones para la gestión del agua. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo,* 21(1): 115-130. https://doi.org/10.22231/asyd.v21i1.1627.

Villalobos-López, M. A., Arroyo-Becerra, A., Quintero-Jiménez, A., & Iturriaga, G. (2022). *Avances biotecnológicos para mejorar la tolerancia al estrés abiótico en cultivos.* Revista internacional de ciencias moleculares, 23(19), 12053.