

# Métodos para evitar la evaporación de agua en reservas abiertas

## *Methods to Prevent Water Evaporation in Open Reservoirs*

*Diana Yamilet Gallegos-Alvarado, Francisco de Jesús Balderas-Cisneros, César Garza-Cárdenas, José Rubén Morones-Ramírez y Angel León-Buitimea*

### Resumen

Nuevo León, situado en una región semiseca al norte de México, enfrenta periodos de sequía recurrentes, agravados por el crecimiento poblacional. La escasez de agua se convierte en un desafío crítico para la región, ya que la dependencia de presas y reservas es afectada por factores como la radiación solar, viento, baja humedad relativa y el diseño de los embalses, contribuyendo a pérdidas significativas por evaporación. Este artículo aborda la problemática proponiendo diversos métodos para reducir las tasas de evaporación, como monocapas de alcoholes grasos, *shade balls*, sistemas modulares flotantes, paneles fotovoltaicos flotantes, así como coberturas flotantes y suspendidas. La implementación de estas tecnologías se examina a la luz de experiencias exitosas en otros países, destacando su potencial para optimizar la gestión del agua en Nuevo León y ofrecer soluciones sostenibles ante los desafíos climáticos y de crecimiento demográfico.

**Palabras clave:** evaporación, gestión del agua, sequía en Nuevo León, Tecnologías hídricas, Sostenibilidad ambiental.

### CÓMO CITAR ESTE TEXTO

Gallegos-Alvarado, Diana Yamilet, Balderas-Cisneros, Francisco de Jesús, Garza-Cárdenas, César, Morones-Ramírez, José Rubén y León-Buitimea, Angel. (2024, enero-febrero). Métodos para evitar la evaporación de agua en reservas abiertas. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 25(1). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2024.25.1.3>

Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia (CUAIEED)

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia de Creative Commons 4.0



### Diana Yamilet Gallegos-Alvarado

*Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)*

Ingeniera Química egresada de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en 2022. Investigadora independiente con gran interés por los principios físicos y químicos para encontrar soluciones innovadoras en las problemáticas actuales de la sociedad, especialmente en el área de materiales y desarrollo sustentable. Su objetivo principal es contribuir al avance del conocimiento mediante la divulgación científica y generar un impacto positivo a través de su trabajo. Procura promover la divulgación de estos temas, compartiendo información y fomentando la conciencia sobre la importancia de materiales sostenibles y prácticas sustentables en la industria química.

[LinkedIn](#) [diana-gallegos](#)

### Francisco de Jesús Balderas-Cisneros

*Investigador independiente*

Investigador independiente, candidato a Doctor en Ciencias con orientación en microbiología aplicada, con experiencia en ingeniería genética de levaduras y bacterias para la producción de proteínas recombinantes y en biología sintética de bacteriófagos como vehículos con potencial para vacunas y con gran interés en utilizar la biotecnología para crear estrategias disruptivas e innovadoras para obtener productos que benefician al ambiente y la salud.

 [0000-0002-4278-0012](#)

### César Garza-Cárdenas

*Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)*

Ingeniero Químico y Maestro en Ciencias con Orientación en Microbiología Aplicada. Investigador independiente. Experiencia en desarrollo, participación y voluntariado en proyectos de investigación sobre: síntesis y caracterización fisicoquímica de nanomateriales y diversos compuestos biológicos; cultivos microbianos (bacterias, microalgas y levaduras); pruebas antimicrobianas; extracción, purificación y caracterización (PCR y enzima de restricción) de ADN genómico y plasmídico; purificación y caracterización de proteínas.

 [0000-0003-1178-4317](#)

### José Rubén Morones-Ramírez

Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)

Ingeniero Químico por la Universidad Autónoma de Nuevo León, obtuvo los grados de Maestría y Doctorado en la Universidad de Texas en Austin y realizó una estancia posdoctoral de 4 años en el Howard Hughes Medical Institute con sede en la Universidad de Boston y el Instituto Wyss de Harvard. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde el 2010, y actualmente tiene el Nivel II. Es Profesor Investigador, Titular A Tiempo Completo, en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, desde agosto de 2012 a la fecha. A su vez, es el director del Centro de Investigación en Biotecnología y Nanotecnología, de la UANL, desde enero de 2016 a la fecha. El Dr. Morones ha escrito 65 artículos de investigación en revistas indexadas y ha acumulado más de 12,800 citas de investigación. Dadas sus contribuciones a su área de investigación, el Dr. Morones ha sido acreedor de distintos reconocimientos nacionales e internacionales por instituciones como el MIT Technology Review, la BBC de Londres, el Grupo Expansión, el Institute of Physics del Reino Unido, AgroBio Mexico, el Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como la Secretaría de Investigación de la UANL, entre otros. Su más reciente reconocimiento es el máximo galardón que otorga la Academia Mexicana de Ciencias a Investigadores (el Premio Nacional de Ciencias a Investigadores Jóvenes 2020 en el área de Ingeniería y Tecnología de la AMC) y a su vez, obtuvo el Premio de Investigación de la UANL 2017 y 2021 en las categorías de Ciencias de la Tierra y Ciencias Exactas, respectivamente.

 [0000-0001-7009-686X](https://orcid.org/0000-0001-7009-686X)

### Angel León-Buitimea

Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)

Licenciado en Química Clínica, Maestría y Doctorado en Farmacia, con estancia doctoral en el College of Pharmacy de University of New Mexico. Posdoctorado en el Centro de Biotecnología y Nanotecnología de la Facultad de Ciencias Químicas, UANL. Profesor hora-clase en la Facultad de Ciencias Químicas, UANL (Ingeniería Química e Ingeniería Ambiental) desde 2020 a la fecha. Profesor Cátedra en la Escuela de Ingeniería y Ciencias del Tecnológico de Monterrey desde 2023. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel C (2014-2016) y Nivel I (2020-2025). Campo de investigación: Antibióticos, Resistencia, bacteriana, Farmacología, Biotecnología y Nanotecnología. Experiencia en investigación básica y clínica, formación de recursos humanos nivel licenciatura, posgrado, servicio social y prácticas profesionales. Autor de diversos artículos arbitrados y/o indexados a nivel nacional e internacional, además de capítulos de libro en español e inglés.

 [angel.deb@uanl.edu.mx](mailto:angel.deb@uanl.edu.mx)

 [0000-0002-5686-4639](https://orcid.org/0000-0002-5686-4639)

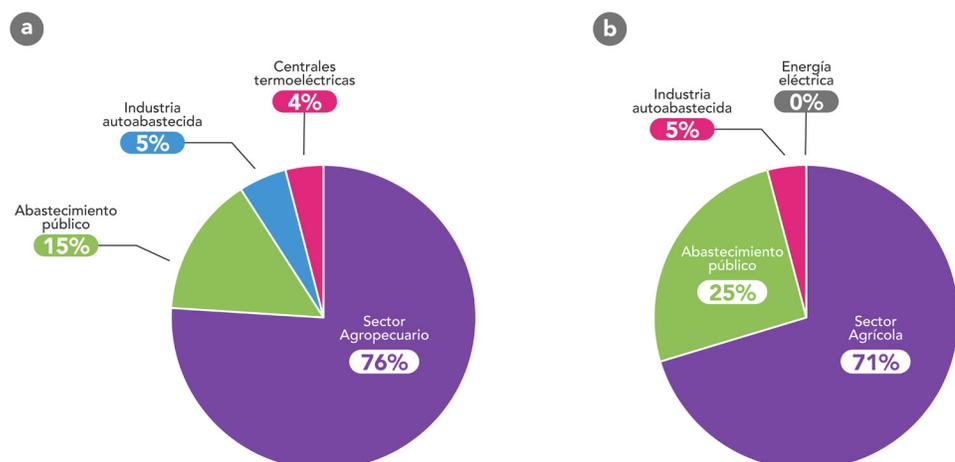
## Introducción

Nuevo León (NL) es un estado ubicado en una región semidesértica con escasa disponibilidad natural de agua. En los últimos cuatro años, ha experimentado una transición de condiciones anormalmente secas a una situación de sequía severa (CONAGUA, 2020a). La precipitación media anual ha disminuido de 682.1 mm en 2016 a 525.5 mm en 2020 (CONAGUA, 2020b). Desde agosto de 2020, NL enfrenta los efectos de la sequía, un fenómeno climático cíclico. Por consiguiente, la falta de lluvias ha llevado a que las presas del estado no cuenten con suficiente agua para abastecer a la población por más de un año (Flores, 2021). Considerando esta situación y anticipando la llegada de más de 1.2 millones de nuevos habitantes para el año 2030, resulta crucial implementar medidas que contribuyan al ahorro de este recurso vital (IMCO, 2023).

## El problema de acumular agua y la pérdida por evaporación

México recibe anualmente aproximadamente 1,489 mil millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación, principalmente en la región sureste. De esta cantidad, el 73% se evapotranspira<sup>1</sup> y regresa a la atmósfera, el 22% fluye por ríos o arroyos, y el 6% se infiltra naturalmente al subsuelo (Visión General del Agua en México, s.f.). Según la distribución porcentual del agua concesionada por uso en México (89.6 miles de hectómetros cúbicos [hm<sup>3</sup>]), el 76% se destina al sector agropecuario, el 15% al abastecimiento público, el 5% a la industria autoabastecida y el restante 4% a las centrales termoeléctricas (Figura 1a; IMCO, 2023).

En contraste, el estado de Nuevo León tiene un consumo total de 2,069 hm<sup>3</sup> al año, de los cuales 1,184 hm<sup>3</sup> (57%) provienen de fuentes superficiales, y los restantes 885 hm<sup>3</sup> (43%) de fuentes subterráneas (Clariond Reyes y Garza Garza, 2018). Según CONAGUA, los usos consuntivos del agua (ver figura 1b) se distribuyen en el sector agrícola (70.42%), el abastecimiento público (25.48%), la industria (4.09%) y la energía eléctrica (menos del 0.01%) (CONAGUA, 2018).



**Figura 1.** Distribución porcentual del uso del agua en México (a) y Nuevo León (b). Fuente: elaborado con información del Instituto Mexicano para la Competitividad a.c. 2023 y el Plan Hídrico Nuevo León 2050.

<sup>1</sup> Fenómeno por el que parte del agua pasa a la atmósfera por evaporación directa del agua del suelo y por transpiración de las plantas.

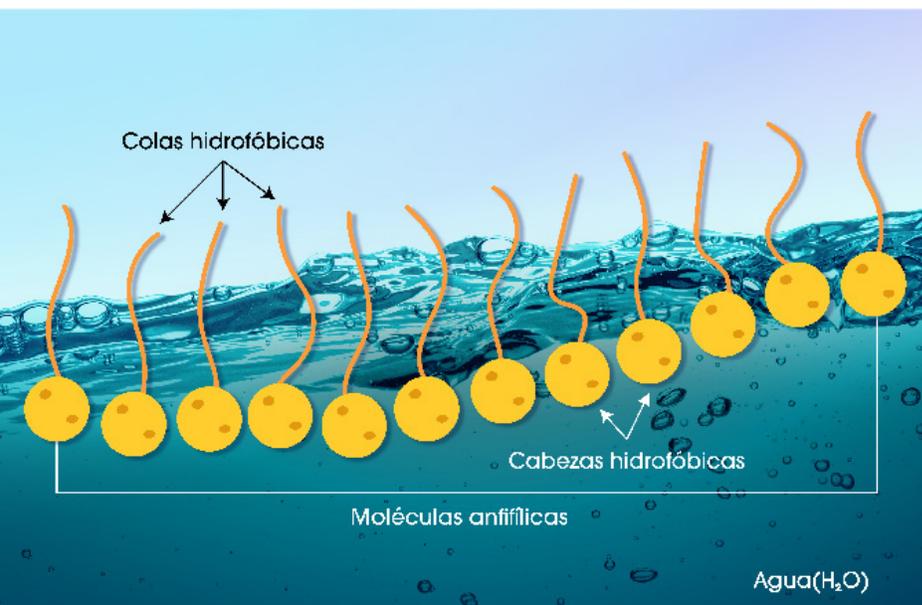
A pesar de las acciones propuestas para hacer frente a las sequías, como el manejo de cultivos y la construcción de nuevas infraestructuras de almacenamiento, aún es necesario llevar a cabo acciones de planeación y generación de mecanismos de alerta temprana (Crespo-Elizondo y Ramírez, 2018).

En la actualidad, Nuevo León cuenta con presas como El Cuchillo, José López Portillo (Cerro Prieto), Rodrigo Gómez (La Boca), Agualeguas, Sombreretillo, El Porvenir y Loma Larga (INEGI, s.f.) para abastecer las necesidades de la población; sin embargo, el nivel de almacenamiento tiende a descender peligrosamente durante las temporadas de sequía y con el transcurso de los años (CONAGUA, 2022). Por ello, es esencial investigar los factores asociados al proceso de evaporación de estos cuerpos de agua, así como implementar métodos que permitan reducir las tasas de evaporación en las aguas superficiales de Nuevo León y México.

## Factores que afectan la evaporación del agua

La radiación solar se erige como la principal causa de la evaporación. Aproximadamente la mitad de la energía solar recibida anualmente se destina a la evaporación del agua de continentes y océanos (Water Vapor and Climate Change, n.d). Cuando la humedad relativa desciende por debajo del 100%, las moléculas de agua se dispersan en el aire, desencadenando el proceso de evaporación; cuanto menor sea el porcentaje, más fácil se produce este fenómeno (Boyd, 2019). A este factor se suma el hecho de que en la última década la temperatura promedio del país (22.4 °C en 2020) y del Estado de Nuevo León ha sido ligeramente superior a lo anticipado (Albanil et al., 2017), lo cual agrava la situación. Además, el tamaño del reservorio es otro elemento significativo: el agua se evapora más rápidamente cerca de los bordes del estanque y en mayor cantidad cuando la superficie es más extensa (López Moreno, 2008).

**Figura 2.** Monocapas de alcoholes grasos. Crédito: elaboración propia..



## Tecnologías para la reducción de la evaporación

Con el propósito de minimizar las pérdidas de agua por evaporación, se han desarrollado diversos métodos, entre los cuales destacan las monocapas de alcoholes grasos, los sistemas modulares flotantes de diversas geometrías, los paneles fotovoltaicos, las cubiertas flotantes continuas y las cubiertas suspendidas (Figura 2).

Las monocapas están compuestas por alcoholes grasos, como el alcohol estearílico, que actúan como barrera

para prevenir la evaporación (Waheeb Youssef y Khodzinskaya, 2019). Las *shade balls*, hechas de polietileno de alta densidad con un aditivo de negro de carbón para proteger el plástico de la radiación solar (Kurek, 2018), se utilizaron en 2015 para contrarrestar la sequía en California (ver figura 3). Los sistemas modulares flotantes, fabricados con derivados del plástico y con formas planas geométricas, están diseñados para reducir de manera significativa la evaporación del agua. Por otro lado, los sistemas fotovoltaicos flotantes desempeñan una función dual, disminuyendo la evaporación del agua y generando energía (Schmidt et al., 2020; ver figura 4). Finalmente, las cubiertas flotantes continuas forman una barrera impermeable que flota sobre la superficie del agua para reducir la evaporación (Waheeb Youssef y Khodzinskaya, 2019; figuras 5 y 6). Mientras tanto, las cubiertas suspendidas (mallas sombra; shadecloth) son estructuras suspendidas instaladas sobre superficies de agua que reducen la acción del viento y bloquean la radiación solar para prevenir la evaporación (Waheeb Youssef y Khodzinskaya, 2019).



Figura 3. *Shade balls* (Luna, 2015).



Figura 4. Paneles fotovoltaicos flotantes (The Agility Effect, 2019).



**Figura 5.** Coberturas flotantes (Waterlines Solutions, 2024).



**Figura 6.** Otros sistemas flotantes (Hexa-Cover, 2022).

## Aplicación de las tecnologías para la reducción de la evaporación

En la actualidad, existen diversas estrategias que permiten abordar de manera efectiva y eficiente el problema de la evaporación del agua. Países como Estados Unidos, Chile, España, Reino Unido, Japón, entre otros, han implementado tecnologías de este tipo con resultados favorables (Martínez, 2016). Sin embargo, en México, los esfuerzos se han centrado en aplicaciones que no necesariamente están relacionadas con la reducción de la evaporación en embalses o reservorios a cielo abierto.

Por ejemplo, el uso de mallas sombra se emplea en agricultura como una estrategia para proteger a las plantas de la radiación solar directa, reducir la temperatura y prevenir la quemadura de los frutos por el sol (Kriuchkova et al., 2018; ver figura 7). En cuanto a los módulos fotovoltaicos, en México (Puerto Peñasco, Sonora) se está desarrollando el parque fotovoltaico más grande de América Latina (Suárez, 2023). A pesar de esto, no se ha considerado que estos sistemas podrían aplicarse en embalses, donde además de producir energía fotovoltaica, podrían evitar la evaporación y ahorrar grandes cantidades de agua. Un ejemplo de este uso dual se observa en el estado de California, Estados Unidos, donde la implementación de estos sistemas ha sido una solución efectiva para mitigar la sequía severa (Palou, 2022).



**Figura 7.** Mallas sombras.  
(NetPro, s.f.).

En México, específicamente en el estado de Michoacán, se llevó a cabo una iniciativa donde se implementó una cubierta flotante para reducir la evaporación de agua. En 2016, comenzó a operar el sistema de captación de agua de lluvia más grande de Latinoamérica (Fuentes-López, 2019), que consiste en un reservorio para el almacenamiento del agua de lluvia y una cubierta flotante complementada con sistemas modulares flotantes de policloruro de vinilo, los cuales, entre otras funciones, evitan la evaporación del agua (Cervantes Gutiérrez et al., 2016). Sin embargo, hasta el momento, no se han documentado más casos de la implementación de métodos para reducir las tasas de evaporación en aguas superficiales ni en Nuevo León ni en otros estados del país.

Por lo tanto, los retos fundamentales incluyen el diseño e implementación de estrategias, programas y políticas que impulsen el desarrollo de energías alternativas y su aplicación como parte de los planes hídricos a nivel estatal y

nacional. Asimismo, un diagnóstico de la situación actual y prospectiva permitirá construir un escenario futuro en el que se identifiquen los programas y proyectos necesarios, siguiendo el ejemplo de otros países, para promover una transición hacia la sostenibilidad y el cuidado de los recursos.

## Conclusiones

Gracias al desarrollo científico y tecnológico, se han creado estrategias para mitigar las altas tasas de evaporación en embalses. La mayoría de los sistemas eficaces, como las cubiertas flotantes o suspendidas, pueden funcionar para estanques de riego pequeños. Sin embargo, los paneles solares flotantes destacan por su doble función de reducir la evaporación y generar energía limpia, a pesar de los altos costos de ejecución. Esta alternativa podría implementarse en las superficies de reservas de agua más afectadas por los factores causantes de la evaporación, por ejemplo, en las zonas menos profundas.

Aunque estas estrategias aún no se han desarrollado en Nuevo León, es recomendable crear condiciones para iniciar la implementación de sistemas que eviten las altas tasas de evaporación, como los paneles solares o sistemas modulares flotantes con altos porcentajes de efectividad, tanto en estanques pequeños del estado como en otras zonas secas de México. Es crucial tomar medidas para hacer frente a las crisis actuales y futuras de agua, desde fomentar la cultura del ahorro de agua hasta mejorar las infraestructuras de riego e investigar nuevas formas de resistir sequías y preservar los ya muy dañados recursos hídricos del estado y del país.

## Referencias

- ❖ Albanil Encarnación, A., Pascual Ramírez, R., López Quiroz, M., Martínez Sánchez, J. N., y Chablé Pech, L. A. (2017). *El reporte del clima en México*. <https://goo.su/RP8EXyk>.
- ❖ Boyd, C. E. (2019). *Evaporation affected by sunlight , temperature , wind*. Global Aquaculture Advocate, May 2012, 7–10. <https://www.globalseafood.org/advocate/evaporation-affected-by-sunlight-temperature-wind/>
- ❖ Clariond Reyes, E., y Garza Garza, A. (2018, enero). *Plan hídrico Nuevo León 2050*. Fondo Ambiental Metropolitano de Monterrey. <https://goo.su/p3gJKCT>.
- ❖ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). *Estadísticas del agua en Nuevo León*. <https://goo.su/1f9UW6>.
- ❖ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020a). *Monitor de Sequía en México*. <https://goo.su/IIHIN>.
- ❖ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020b). *Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia*. <https://goo.su/DNMK>.

- ❖ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). *Monitoreo de las principales presas de México*. <https://goo.su/aQYjmtZ>.
- ❖ Crespo-Elizondo, R., y Ramírez, A. (2018). *Plan Hídrico Nuevo León 2050*.
- ❖ Flores, L. (2021). Nuevo León solicitará declaratoria de emergencia por sequía en 48 municipios. *El Economista*. <https://goo.su/5x9CA>.
- ❖ Fuentes-López, G. (2019, September 15). *El pueblo que echó a partidos y narcos, Cherán, sorprende otra vez: ya tiene recolector de lluvia*. SinEmbargo. <https://www.sinembargo.mx/15-09-2019/3644530>.
- ❖ Hexa-Cover. (2022). <https://www.hexa-cover.dk/us/news.aspx>.
- ❖ Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO). (2023, 7 de febrero). *Aguas en México: ¿escasez o mala gestión?* <https://goo.su/WFhu>.
- ❖ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (s.f.). *Agua. Nuevo León*. <https://goo.su/ZpH0>.
- ❖ Kriuchkova, E., López Cañtens, G., Chávez Aguilera, N., y Flores L., D. E. (2018). Diseño e instalación de un sistema de control automático de malla sombra, caso cultivo de fresa (*Fragaria sp.*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (21), 4328–4340. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1534>.
- ❖ Kurek, J., y Martyniuk-Pęczek, J. (2018). Forecasted climate changes and their influence on cities and regions in 2050 in terms of extreme hydrological events. *Czasopismo Techniczne*, 11. <https://doi.org/10.4467/2353737xct.18.159.9415>.
- ❖ López Moreno, J. I. (2008). Estimación de pérdidas de agua por evaporación en embalses del Pirineo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 34(0), 61. <https://doi.org/10.18172/cig.1207>.
- ❖ Luna, P. (2015, 22 de diciembre). Un millón de bolas negras contra la sequía. SINC. <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/Un-millon-de-bolas-negras-contra-la-sequia>.
- ❖ Martínez, L. M. (2016, 1 junio). Métodos para evitar que el agua se evapore. *iAgua*. <https://goo.su/S3ue>.
- ❖ NetPro. (s.f.). *Daf applethorpe*. <https://www.netprocanopies.com/index.php/water-security-dam-covers/>.
- ❖ Palou, N. (2022, 7 marzo). Cubrir canales con placas solares para ahorrar agua y generar electricidad, la solución para mitigar la sequía. *La Vanguardia*. <https://goo.su/olXmy>.
- ❖ Schmidt, E., Pittaway, P., y Scobie, M. (2020). *Assessment of Evaporation Mitigation Technologies in Queensland*.
- ❖ Suárez, K. (2023, 3 febrero). El parque fotovoltaico más grande de América Latina se encenderá en abril en Sonora. *El País México*. <https://goo.su/TZETq2G>.
- ❖ The Agility Effect. (2019, 14 de noviembre). *Plantas solares flotantes, una solución al problema del suelo*. <https://www.theagilityeffect.com/es/article/plantas-solares-flotantes-una-solucion-al-problema-del-suelo/>.

- ❖ Visión general del Agua en México. (s.f.). Agua.org.mx. <https://goo.su/g7N6ipQ>.
- ❖ Waheeb Youssef, Y., y Khodzinskaya, A. G. (2019). A review of evaporation reduction methods from water surfaces. *E3S web of conferences*, 97, 05044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199705044>.
- ❖ Water Vapor and Climate Change. (s.f.). *ACS Climate Change Advocacy Workshop*. <https://www.acs.org/climatescience/climatesciencenarratives/its-water-vapor-not-the-co2.html>.
- ❖ Waterlines solutions. (2024). *Floating covers are most cost-effective option*. <https://waterlines.co.uk/services/floating-covers/>.