

Diseño De Un Prototipo Condensador De Humedad Atmosférica Para Obtener Agua Potable En Zonas Rurales

Luis Roberto González Grovas¹

luis.gg@xalapa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2368-1211>

Tecnológico Nacional de México

ITS Xalapa

México

Gerardo Meza Flores

gerardo.mf@xalapa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5930-6202>

Tecnológico Nacional de México

ITS Xalapa

México

Salvador Herrera Velarde

salvador.hv@xalapa.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7969-7087>

Tecnológico Nacional de México

ITS Xalapa

México

Laura Alejandra Barradas Sánchez

187000828@itsx.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0007-4208-7254>

Investigador Independiente

México

RESUMEN

Este trabajo de investigación muestra el proceso de diseño, construcción y prueba de un prototipo para aprovechamiento del recurso hídrico no convencional como lo es el vapor de agua contenido en la atmósfera. El objetivo es que el prototipo permita a poblaciones rurales del estado de Veracruz (México), establecidas en zonas áridas y semiáridas, obtener agua potable y con ello brindar una solución alternativa a la escasez de agua producto de las intensas sequías. El prototipo condensador de humedad atmosférica en fase experimental con base en las condiciones presentes en el sitio de pruebas, logró generar agua a una razón de 21 ml por hora de funcionamiento.

Palabras clave: humedad atmosférica; prototipo condensador; agua potable; poblaciones rurales

¹ Autor principal.

Correspondencia: luis.gg@xalapa.tecnm.mx

Design of a Prototype Atmospheric Humidity Condenser to Obtain Drinking Water for Rural Areas

ABSTRACT

This research work presents the process of design, construction, and testing of a prototype for harnessing unconventional water resources, such as water vapor contained in the atmosphere. The objective is for the prototype to allow rural populations in the state of Veracruz (Mexico), located in arid and semi-arid areas, to obtain potable water, thus providing an alternative solution to water scarcity resulting from intense droughts. The atmospheric moisture condenser prototype, in an experimental phase based on conditions at the test site, successfully generated water at a rate of 21 ml per hour of operation.

Keywords: atmospheric humidity; capacitor prototype; drinking water; rural populations

Artículo recibido 20 noviembre 2023
Aceptado para publicación: 26 diciembre 2023

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los temas que ha detonado un gran interés tanto a nivel gobierno, científico y en la población en general, debido las repercusiones visibles en todo el mundo. Se ha definido como el cambio de clima ocasionado de manera directa o indirecta por la actividad humana que ha alterado la composición de la atmósfera, y como consecuencia resalta un deterioro del medio ambiente (Díaz, 2012) Tal es el caso del aumento de la temperatura ambiental producto de la emisión de gases de efecto invernadero que ha originado un gran efecto en los fenómenos relacionados al agua, por consiguiente, el ciclo hidrológico ha tenido alteraciones que distorsionan los patrones de lluvia teniendo estos a su vez alcances negativos de distintas magnitudes y consecuencias catastróficas (Velasco y Celis, 2012)

En ese sentido, los patrones de lluvia se presentan con déficit o escasez prolongada, así como una distribución irregular de precipitaciones pluviales en comparación con los patrones considerados como habituales, este comportamiento es identificado como sequía meteorológica (Ortega-Gaucin y Velasco, 2013).

A lo largo de la historia hay evidencia de que la sequía es el fenómeno meteorológico que mayor daño económico ha causado a los seres humanos (Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2022). Desafortunadamente, en los últimos años, los cambios de temperatura extremos en la mayoría de las regiones del mundo han generado sequías más extensas y, cuando llueve, se nota una disminución en la cantidad de precipitación pluvial; esta combinación de fenómenos tiene como consecuencia una mayor duración y afectación de las condiciones de sequía (Anglés & Maldonado, 2020).

La sequía representa y seguramente continuará siendo uno de los principales eventos catastróficos de origen socio natural que impactan comunidades y al medio ambiente a escala mundial (Nuñez y Verbist, 2018). Sus impactos, como refieren Ortega-Gaucin y Velasco (2013), abarcan el ámbito económico: la pérdida de producción agrícola, pecuaria, forestal y pesquera, pérdida del ingreso de productores, comerciantes y transportistas, entre otros, originado una recesión en la tasa de crecimiento económico regional. En cuanto al impacto social generado por la sequía destacan: la escasez de cantidad y calidad de los alimentos, los problemas de salud y aumento de la morbilidad en sectores vulnerables, el conflicto entre los usuarios y sectores del agua, la baja calidad de vida e incremento de la pobreza; derivado de

lo anterior en una comunidad que experimenta sequía existe inestabilidad social, marginación y migración hacia áreas urbanas o al extranjero. Por último, el impacto ambiental, originado por la erosión y pérdida de suelos, incendios forestales, la degradación de la calidad del agua y del aire, la pérdida de flora y fauna silvestre, la degradación del paisaje y pérdida de servicios ecosistémicos.

El impacto de las sequías se hace presente con mayor intensidad en la población que reside en zonas rurales. Una considerable proporción de esta población, presenta mayor susceptibilidad a las sequías debido a que no cuenta con acceso a servicios esenciales de agua y saneamiento en sus viviendas, lo que les impide tener un suministro adecuado y constante para sus tareas cotidianas. Asimismo, suelen enfocarse en la agricultura y la ganadería, actividades que conllevan un significativo riesgo ante episodios de sequía (Ortega-Gaucin, 2023).

En México la sequía ha afectado de manera frecuente el centro y norte del territorio nacional intensificándose por el fenómeno climatológico conocido como “La niña”. Las afectaciones, en los tres últimos años, han sido de tal grado que el año 2021 fue considerado el episodio más grave de sequía en el territorio nacional desde 2012 (Banco de México, 2022).

No obstante, en el presente año, la sequía ha alcanzado niveles críticos. Acorde a la actualización del monitor de sequía de México al 15 de octubre del 2023, señala que, de un total de 2,471 municipios 1,819 presentan niveles de sequía en el rango de moderada a excepcional, resultando afectados el 73.6% de los municipios del país (Comisión Nacional de Agua [CONAGUA], 2023).

En el caso del Estado de Veracruz, 16 municipios pertenecientes al centro y norte de la entidad han tenido 3 declaratorias de desastre por sequía entre el año 2000 al 2021 (Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2022). En este 2023, el mes de septiembre reporta las cifras más críticas con 84 municipios con sequía moderada, 23 con severa, 19 con extrema y 3 municipios con sequía excepcional (CONAGUA, 2023).

En Veracruz, grandes extensiones del territorio están enfocadas al sector económico primario. En 32 de los 212 municipios y en los cuales se ha declarado desastres por sequía, la población dedicada a actividades de agricultura, ganadería, pesca, aprovechamiento forestal y otras relacionadas con el campo asciende a más del 50% de ocupación (Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2022).

Ante ello, el impacto en las zonas rurales se ha presentado con mayor contundencia, por tal motivo es de vital importancia generar proyectos tecnológicos que coadyuven a garantizar el derecho al agua potable, y a la par, logren un impacto en el desarrollo social y económico bajo el cuidado del medio ambiental sobre todo en el medio rural.

En la actualidad ante la problemática del déficit o escasez de agua han surgido investigaciones para el aprovechamiento de recursos hídricos no convencionales como son los sistemas de captación de agua de lluvia, captación de neblina o condensación de humedad atmosférica (Bautista-Olivas et al., 2011); estas técnicas pueden ser usadas para proveer de agua potable en situaciones de escasez de la misma.

Considerando que la atmósfera terrestre alberga unos 12,900 km³ de agua dulce, de los cuales el 98% es vapor de agua y el 2% restante es agua condensada en forma de nubes (Beysens y Milimouk, 2000).

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera llamado comúnmente humedad fluctúa considerablemente en diferentes lugares y momentos. Sin embargo, en promedio, representa aproximadamente el 1% del volumen de aire mezclado, lo que lo convierte en el tercer gas más abundante en la atmósfera (Martínez, 2007). La humedad atmosférica se renueva y mantiene de forma autónoma, gracias a los ciclos de calentamiento y enfriamiento de la superficie del suelo y del agua. Estos procesos afectan la evaporación y transpiración, así como el movimiento del aire, asegurando la presencia continua de vapor de agua en la atmósfera, incluso en los desiertos más áridos (Bautista-Olivas et al., 2011). Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación aborda la generación de agua potable a través de la condensación de la humedad atmosférica

El objetivo de este trabajo es mostrar el diseño, construcción y puesta a prueba un condensador de humedad atmosférica que, ante la falta de agua --producto de las intensas sequías generadas en los últimos años--, sirva como medio para proveer de agua potable a poblaciones rurales del estado de Veracruz establecidas en zonas áridas y semiáridas y permita coadyuvar al desarrollo de sus actividades cotidianas.

METODOLOGÍA

Se realizó una investigación tecnológica dada las características mencionadas por Gómez y R. (2020). La investigación se enfoca en aspectos prácticos y tangibles, iniciando con identificar una necesidad

para que, a partir de ahí, se desarrolle una solución con base en las teorías y leyes existentes, así como conocimientos empíricos.

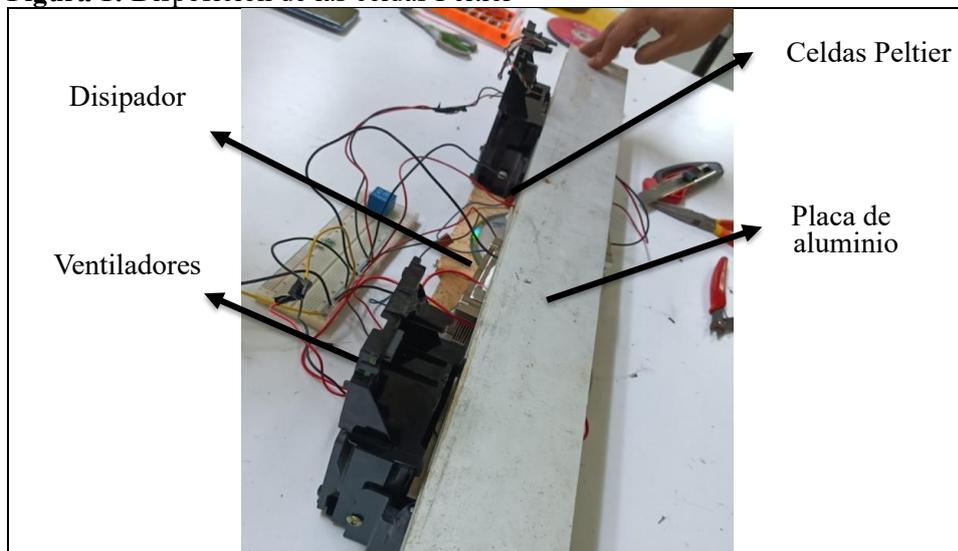
Para el diseño y construcción del prototipo del condensador de humedad atmosférica se llevaron a cabo tres fases, incluyendo en la fase final la prueba de funcionamiento del mismo.

Fase 1

Se inició el primer prototipo de condensador de humedad atmosférica utilizando como punto de partida el efecto Peltier. Se empleó como base una placa de aluminio de 300 x 80 x 2 mm, en la cual se colocaron 4 celdas Peltier separadas de forma lineal por tres centímetros (considerando que cada una de ellas tiene como soporte un disipador de calor). El sistema se alimentó a través de una fuente conectada directamente a una protoboard que, al mismo tiempo, distribuyó la energía a las celdas Peltier, ventiladores y disipadores de calor.

En la figura 1 se muestra la distribución de los elementos correspondientes a las celdas Peltier, la placa de aluminio, ventiladores y disipadores de calor.

Figura 1: Disposición de las celdas Peltier



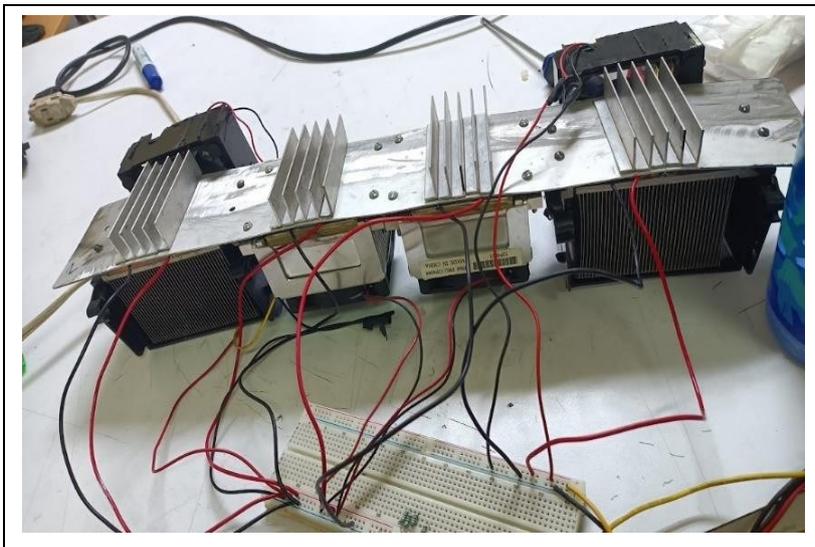
Fuente: Elaboración propia

Cada una de las celdas Peltier funciona con una alimentación de 12 volts y emplea una corriente de 6 A. A su vez, dado que la fuente de alimentación cuenta con una entrada de 110 volts y salidas de 3, 5 y 12 volts y entrega una corriente 6 A, permitió que se regulase el funcionamiento. Para la conexión

del cableado, con tal de unir determinadas terminales y facilitar la conexión con la placa protoboard llegó a usarse soldadura de estaño.

Con el objetivo de facilitar la recolección de agua se colocó el prototipo en una posición horizontal, de modo tal que, al irse obteniendo agua, esta se dirigiera y cayera automáticamente por acción de la gravedad. El agua se redirecciona al recipiente haciendo uso de unas canaletas laminadas de aluminio, las cuales también fungieron como ampliación de la superficie de contacto con las celdas. El prototipo con las canaletas se puede observar en la figura 2.

Figura 2: Prototipo con canaletas de aluminio integradas



Fuente: Elaboración propia

Fase 2

Con el fin de obtener un mejor desempeño se colocó el prototipo dentro de una cubierta, a manera de conservar las condiciones de humedad sin importar en primera instancia las condiciones temporales externas. También, la placa metálica se dividió para que abarcara menos espacio longitudinal, siendo posicionada la mitad de la placa sobre su igual, esto sin obstruir la caída libre de las gotas a formar. A la par, se añadió una charola para que el agua recolectada se deposite en ella.

En la nueva colocación del prototipo y sus elementos, se agregaron unos ventiladores adicionales para inyectar el aire al interior de la cubierta, con motivo de redirigir el aire húmedo a las celdas (figura 3).

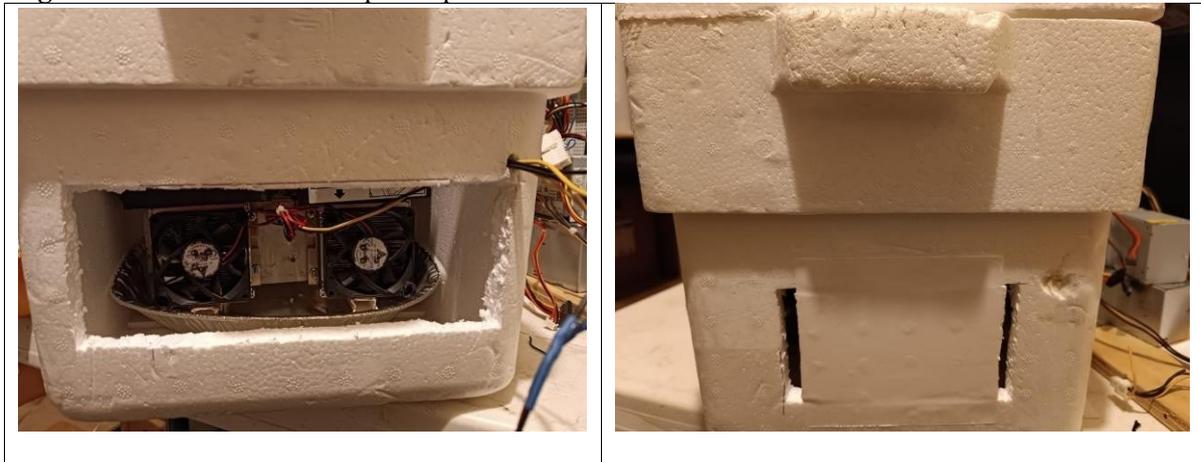
Figura 3: Posición del prototipo condensador en cubierta



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las dimensiones del prototipo se ocupó una hielera de unicel como cubierta para una prueba de funcionamiento. Para conectar de forma directa a la fuente de alimentación y prescindir de la placa protoboard, se pusieron arneses y bridas a las terminales de los cables. El diseño del prototipo al finalizar la fase 2 se muestra en las figuras 4 y 5. Una vez dispuesto el prototipo condensador en la cubierta se inició la prueba de funcionamiento de la fase 2.

Figura 4: Vistas laterales del prototipo condensador en cubierta.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Vista superior de prototipo condensador en cubierta



Fuente: Elaboración propia

Fase 3

Con base en los resultados obtenidos en la primera prueba de funcionamiento y pensando en mejorar el desempeño del prototipo se optó por añadir dos celdas Peltier de mayor potencial. Cada celda utiliza una intensidad de corriente de 15 A y un potencial eléctrico de 12 V. Cabe mencionar que solamente se agregaron dos celdas Peltier de 15 A debido a que emplear un número mayor de estas, conlleva una mayor suministración de energía por parte de las celdas fotovoltaicas, es decir, se tendría que considerar dentro del presupuesto la adquisición de al menos una celda fotovoltaica más.

Al integrar las celdas de 15 A al prototipo junto con las otras dos celdas consideradas previamente (6 A y 12 V), se concluye que el suministro máximo de corriente sería de 42 A; este valor está dentro de los márgenes establecidos, considerándose un par de celdas fotovoltaicas capaces de suministrar 40 A. Una vez fijadas las nuevas celdas y el reacomodo de las mismas, y considerando que una sola fuente no abastecería por completo el amperaje requerido por las celdas Peltier que, si bien podrían funcionar directamente con una sola fuente, el funcionamiento no sería el adecuado, se adquirió e integró al prototipo una nueva fuente de alimentación del mismo tipo al ya existente (entrada de 110 V, salida de 12 V y un amperaje 40 A). Ambas fuentes se conectaron utilizando un cable de calibre 12, debido al amperaje que se maneja y también para evitar sobrecalentamientos en el mismo.

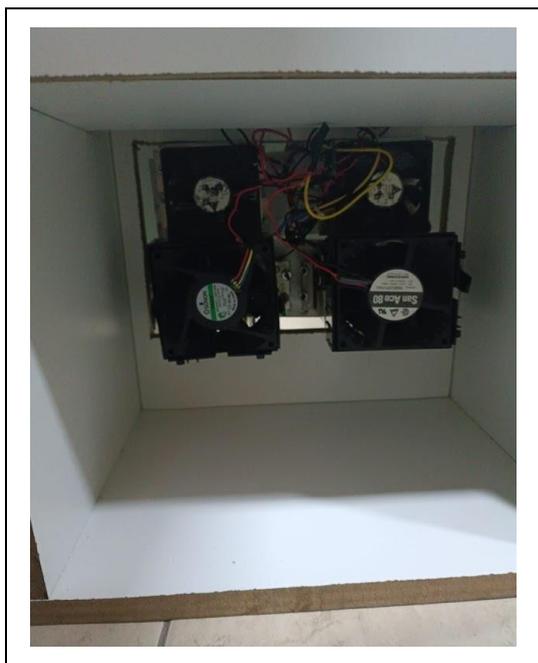
En general, además de los cambios previamente mencionados, también se modificó el recubrimiento del prototipo. Con el objetivo de mejorar la estética del prototipo, hacer más fácil su transporte y realizar cambios de elementos y del depósito de agua de manera efectiva se decidió emplear MDF (por sus siglas Medium Density Fibreboard), coloquialmente conocido como madera comprimida. El prototipo resultante con tales cambios se presenta en las figuras 6, 7 y 8. Una vez concluido el prototipo condensador se iniciaron las pruebas correspondientes a la fase 3.

Figura 6: Vista superior del prototipo condensador



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Vista interna del prototipo condensador



Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Exterior del prototipo condensador en su cubierta de MDF.



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la prueba de funcionamiento en la fase 2

Se procedió con la prueba directa del prototipo condensador en funcionamiento por 24 horas seguidas, bajo el siguiente registro climatológico en la ciudad de Xalapa-Enríquez, Veracruz: temperatura mínima de 15 °C y máxima de 21 °C, humedad relativa del 95% y un punto de rocío de 15 °C.

Se obtuvo que, en un tiempo corrido de 4 horas (de las 2:00 pm a las 6:00 pm) se produjeron 74 ml de agua, donde el promedio de generación fue de 18.5 ml por hora. Dicho valor varía de acuerdo con las condiciones climáticas externas al sitio de aplicación del prototipo, es decir, al estar el clima caluroso seco en el exterior, la cantidad de agua disminuía por algunos mililitros, caso contrario, si el clima era frío y con lluvia en el exterior, la captación era de mayor magnitud (el clima de la ciudad de Xalapa es altamente cambiante y en un lapso de 24 horas es posible presentar dichos cambios).

Figura 9: Agua obtenida por el prototipo condensador en la fase 2



Fuente: Elaboración propia

Resultados de la prueba de funcionamiento en la fase 3

Una vez implementados los cambios en el diseño del prototipo condensador relativos a la fase 3, se modificó el punto de condensación derivado de la integración de celdas Peltier de mayor potencia, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 1, según las condiciones del clima.

Tabla 1: Resultados de la prueba de funcionamiento del prototipo condensador de humedad.

Prueba	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Humedad relativa (%)	Punto de rocío (°C)	Cantidad de agua generada (ml/hr)
1	15	23	89	15	21
2	14	25	76	15	16
3	14	22	85	15	15

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, la máxima cantidad de agua generada por el prototipo final condensador de humedad fue de 21 ml por hora.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian el funcionamiento del condensador de humedad atmosférica. Es de importancia hacer notar que en primera instancia se logró la generación de agua en el sitio de prueba, bajo condiciones climatológicas cambiantes a lo largo de un día; este factor ocasiona que la cantidad de agua colectada sea variable en cada experimento. Sin embargo, esto permite tener un escenario parcial de cómo sería la recolección de agua del prototipo en diferentes zonas a lo largo del estado de Veracruz.

A la fecha, se están contemplando nuevas adaptaciones al prototipo para incrementar de manera significativa la condensación del vital líquido, tomando en consideración que el desarrollo tecnológico esperado sea sustentable y económicamente accesible a la población objetivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anglés, M., & Maldonado, M. G. (2020). La sequía como determinante del desplazamiento climático. Una mirada desde México. En M. Pérez, & E. Ortega, *Migración forzada, derechos humanos y niñez* (págs. 111-130). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Banco de México. (2022). *Sequía en México y su potencial impacto en la actividad económica*. Extracto del informe trimestral abril-junio 2022, México.

- Bautista-Olivas, A. L., Tovar-Salinas, J. L., Palacios-Velez, O. L., & Mancilla-Villa, O. R. (2011). La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. *Agrociencias*, 45(3), 293-301.
- Beysens, D., & Milimouk, I. (2000). The case for alternative fresh water sources. Pour les ressources alternatives en eau. *Secheresse*, 11(4), 1-16.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (20 de 10 de 2023). *Monitor de Sequía en México*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Diaz Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 227-240. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>
- Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. (2022). *Temporada de estiaje o sequía metereológica 2022*. Veracruz: Gobierno del Estado de Veracruz.
- Gómez, S., & R., E. (2020). Investigación Tecnológica. Concepción metodológica en las ciencias de la ingeniería. *Revista Electrónica de Ciencia y Tecnología del Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo*, 10(10), 80-96.
- Martínez, A. (2007). El agua en la atmósfera. *Ciencia*, 58(3), 36-44.
- Núñez Cobos, J., & Verbist, K. (2018). *Atlas de sequías de América Latina y el Caribe*. UNESCO Y CAZALAC. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265894>
- Ortega-Gaucin, D. (2023). Impactos de la sequía en el campo y en las ciudades. En R. d. UNAM, *Gestión integral de sequías* (págs. 7-13). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortega-Gaucin, D., & Velasco, I. (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. 5(2), 78-90. doi:<https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2013-v5-2-08>
- Velasco, I., & Celis, E. (2012). *Sequía y cambio climático en México* (Primera ed.). Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.