

Modelos predictivos del estrés hídrico y precipitación en el estado de Guanajuato

Forecasting hydric stress and precipitation in Guanajuato state

Alejandro Ortega Hernández¹, Marilu León Andrade², Rocío Rosas Vargas³, Benito Rodríguez Haros⁴

Departamento de Estudios Sociales, Universidad de Guanajuato

¹a.ortega@ugto.mx.

²marilu@ugto.mx.

³rociorv @ugto.mx.

⁴brodriguez@ugto.mx.

Resumen

Actualmente, la dinámica económica pujante de los diferentes sectores del estado de Guanajuato, impulsada por su tradición agrícola, que provee tanto al mercado interno como externo, la industria, sobre todo lo automotriz y sus cadenas de proveeduría, ejercen una fuerte presión sobre la disponibilidad actual de agua, recurso de por sí escaso y que enfrenta una creciente demanda; así mismo, en los últimos años se ha enfrentado un proceso de sequía e incremento de la temperatura cada vez mayor; lo que se concretiza en una suerte de crisis y escasez del agua. De acuerdo con el *Pacific Insitute*, de los cerca de 700 conflictos hídricos documentados desde el año 2000, dos terceras partes (68 %) se encuentran en zonas del mundo donde están documentados tanto el estrés hídrico como el declive en el almacenamiento de agua. El objetivo de este trabajo es demostrar que existe un constante y creciente estrés hídrico en el estado de Guanajuato, dado el nivel de precipitación. El análisis estadístico de la información constituye la metodología central en esta investigación, complementado con un análisis bibliográfico actual y del registro censal y estadísticas vitales para poder generar algunos modelos y proyecciones sobre la posibilidad de enfrentar un determinado nivel de estrés hídrico; un análisis de este tipo constituye un ejercicio poco frecuente dentro de la literatura existente. En este tenor, podemos adelantar que se enfrenta un creciente estrés hídrico en el estado, y que la cosecha de agua constituye una alternativa viable y factible para reducir la presión sobre este recurso.

Palabras clave: Cosecha de Agua, Demanda de Agua, Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, Análisis Estadístico.

Introducción

El agua no sólo es indispensable para los ecosistemas y la agricultura, sino para la industria y las diversas actividades que se realizan en las zonas urbanas, por lo que podría comenzar a hablarse de una crisis del agua (Bueno et al, 2019) o bien de una crisis hídrica (de Alba y cruz, 2013), así como de un riesgo para todos los sectores antes mencionados. Aunque existe una controversia en quien consume más agua, si la agricultura (IMCO, 2023) o las zonas urbanas (Castillo y Rovira, 2013). Por ello, el tema del agua forma parte de los ODS, en diferentes vertientes, tales como el uso eficiente del agua y, precisamente, el estrés hídrico (FAO, 2024). Pese a que no es reciente el problema de la escasez de agua, tanto la disponible en cuerpos de agua como la variabilidad de las lluvias, cada vez es más acuciante esta situación dado que a la par se presenta una mala gestión del recurso hídrico (Aguilar y De La Cruz, 2015), así como un aumento en la dinámica socioeconómica, que acelera aún más la presión sobre este recurso, acrecentando todavía más el estrés que ya se presenta en todos los sistemas; situación que cada vez se agudiza más (Castillo y Rovira, 2013. Guzmán et al, 2009).

El objetivo de este trabajo es demostrar que existe un constante y creciente estrés hídrico en el estado de Guanajuato, dado el nivel de precipitación pluvial que se presenta, lo que nos permitirá generar estrategias para reducir el estrés del estado de Guanajuato en el futuro inmediato. Por lo que se generaron dos proyecciones, respecto al pronóstico de lluvias, uno proyectado a 2025 y uno a 2026.

En esta investigación el estrés hídrico se define como la presión a la que se encuentra sometido el recurso hídrico del estado de Guanajuato (Bueno et al, 2019), en este caso haciendo énfasis en la disponibilidad y pronóstico de precipitaciones pluviales. Así mismo, Valladares (2008) define el estrés cuando una planta está sometida a condiciones de vida significativamente diferentes a las que le son usualmente óptimas; algo similar podría aplicar para el resto de los seres vivos, que requieren del vital líquido, y que a su vez también involucran los conceptos de tensión y deformación, la respuesta a la relación entre estas dos últimas variables, límite de elasticidad y resistencia, después del cual la planta, ser vivo o ecosistema sufrirá un daño permanente; siendo la disponibilidad hídrica el principal factor, a través de la falta de agua o déficit hídrico, el que ejerce la tensión o estrés sobre las plantas, seres vivos o ecosistemas. En general, la revisión bibliográfica permitió identificar una falta de investigaciones que evalúen de manera global el fenómeno del estrés hídrico a nivel de un estado o de una región, e inclusive a nivel de todo México; si bien existe una buena base de datos estadísticos que realizan un pronóstico a muy corto plazo, por lo que es necesario poder estimar en el largo plazo el pronóstico de lluvias y el consecuente estrés hídrico.

Materiales y Métodos

Se tomó un total de 38 observaciones, comprendidas dentro del periodo enero de 2021 a febrero de 2024, sobre predicciones de precipitación promedio de los últimos 5 años (CONAGUA, 2024). El análisis estadístico de la información constituye la metodología central en esta investigación, sobre todo lo que respecta al uso de herramientas de modelos predictivos del programa SPSS, donde se logró generar un modelo del tipo Multiplicativo-de Winters, que es útil para predecir a partir de una serie de tiempo, utilizando la herramienta de Predicción y Creación de Modelos tradicionales, del software ya citado, mediante el método “modelizador experto”: Lo anterior complementado con un análisis bibliográfico actual y del registro censal y estadísticas vitales para poder generar algunos modelos y proyecciones, sobre la posibilidad de enfrentar un determinado nivel de estrés hídrico; un análisis de este tipo constituye un ejercicio poco frecuente dentro de la literatura existente (Cfr. Barrett y Esquivel, 2013. Ojeda et al, 2013. González et al, 2012. Gutiérrez et al, 2010. Guzmán et al, 2009) que usualmente se enfoca más a medir el estrés hídrico específicamente en cultivos, ya sea en campo o bajo sistemas controlados.

Resultados y Discusión

La figura 1 ilustra claramente la presión que existe sobre el recurso hídrico en la última década, en donde el grado de presión ha ido en aumento año con año (Bautista et al, 2018), aunque a un ritmo decreciente. Si bien el aumento de la población ejerce una fuerte influencia sobre este indicador, otras variables que inciden también son la dinámica económica en la que se encuentra envuelto nuestro país, tanto en el sector agrícola como industrial, que prácticamente implican exportar grandes cantidades de agua, lo que nos llevaría a conceptos tales como huella hídrica y agua virtual (IMCO, 2023); de mantenerse las estimaciones, la presión sobre este recurso escaso seguiría en aumento, si México continúa siendo una de las principales economías en crecimiento para 2050; con esto se demuestra en parte, la existencia de un estrés sobre el recurso hídrico, pero hay que considerar que los pronósticos de lluvia de los últimos 3 años, a nivel nacional, son muy similares en cuanto a niveles de precipitación (CONAGUA, 2024).

De igual modo, hay que considerar que la situación presentada en la figura 1 es en parte resultado de la sobre explotación y contaminación de los cuerpos de agua, así como del cambio climático, en general, el aumento de la temperatura y la variación en los niveles de precipitación, de ahí la importancia de poder modelar el comportamiento de la lluvia; sobre todo en un estado, como Guanajuato, ubicado en una de las zonas del país más afectadas por el aumento de la temperatura; lo que a su vez se ve reflejado en la volumen de agua de las presas, que para este 2024 casi la totalidad de las presas de estado se encuentran por debajo del 50% de su capacidad de almacenamiento (SIAP, 2024).

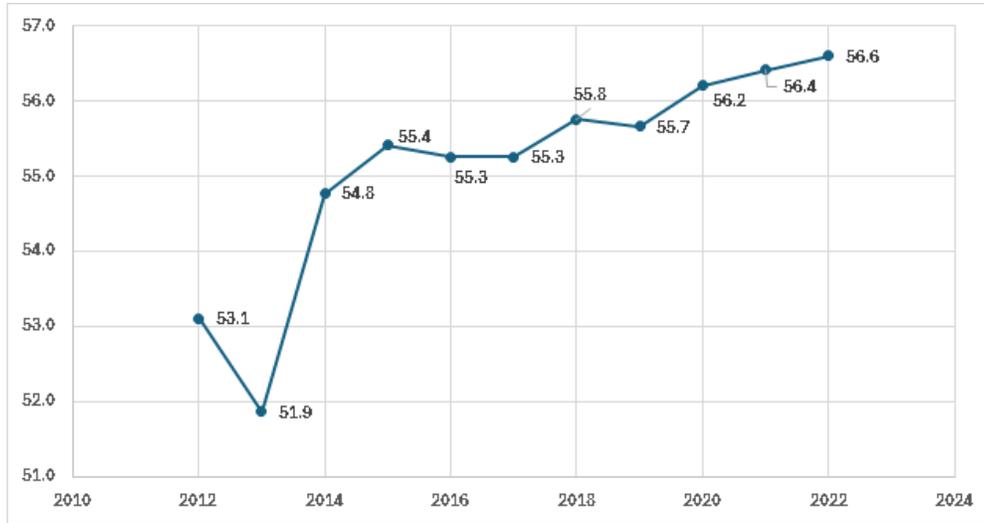


Figura 1. Grado de presión sobre el recurso hídrico de las zonas centro y norte del país
 Fuente: elaborado con datos del IMCO (2023).

A partir de las 38 observaciones, correspondientes a 4 años, se encontró que los pronósticos para el estado de Guanajuato no seguían una distribución normal, es decir, que hay algunos meses en los cuales se concentran las lluvias, lo que dificulta aún más la capacidad de predicción y de estimación; presentándose máximos de 208 mm y mínimos de .80 mm por mes (Cfr. Barrett y Esquivel, 2013). Por lo que el modelo generado no sigue al menos un comportamiento completamente lineal (véase figura 2).

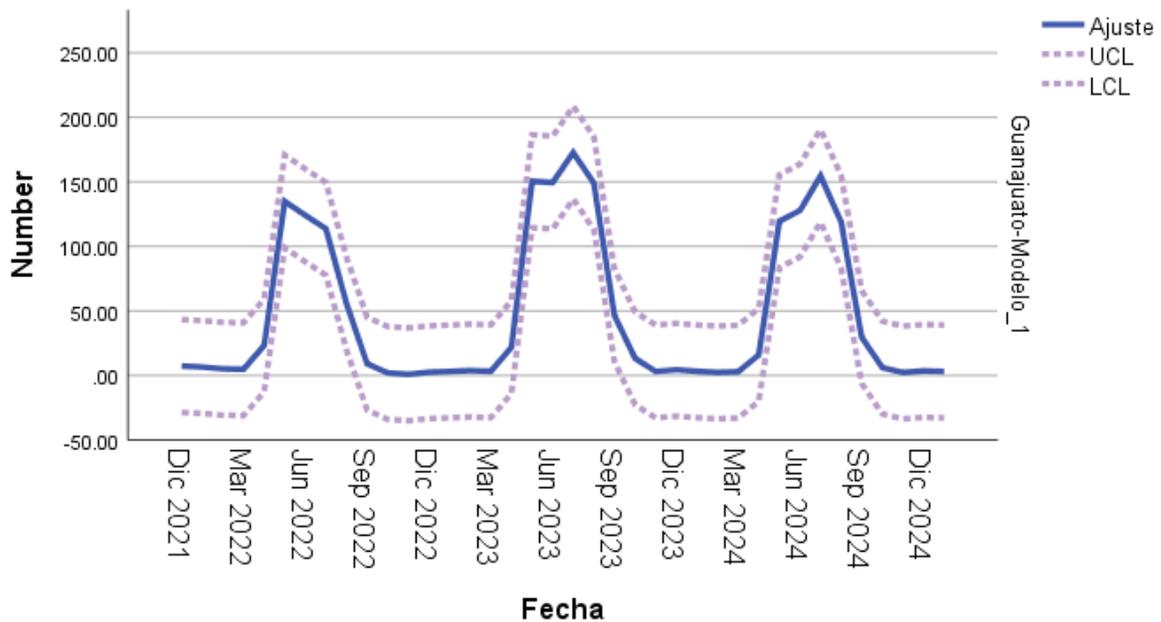


Figura 2. Modelizado de serie temporal para el pronóstico de lluvias, Guanajuato

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2024.

Llama la atención (en la figura 3) la amplitud de los intervalos de confianza para el pronóstico calculado para 2025, lo que indicaría que, aunque existe una alta probabilidad de que llueva muy por debajo del pronóstico.

El *software* empleado generó un modelo del tipo Multiplicativo de *Winters*, calcula valores suavizados exponencialmente para el nivel, con tendencia y ajuste estacional para la previsión, el cual se adapta mejor para los fines de esta investigación. Los promedios de lluvia, en los últimos 4 años, indican un descenso en los niveles de precipitación entre 2022 y 2023, pese a que la prueba de ANOVA no indicó diferencia estadística significativa, motivo por el cual el nivel de estrés aumenta aunado al incremento del nivel de demanda de agua en otros puntos que conforman la cuenta del río Lerma.

Como se observa en la figura 2 y 3, para 2024 se observa una predicción de la precipitación muy similar a la que se presentó durante 2023, sin embargo, para 2025 se observa que existe la probabilidad de que esta sea mucho mayor.

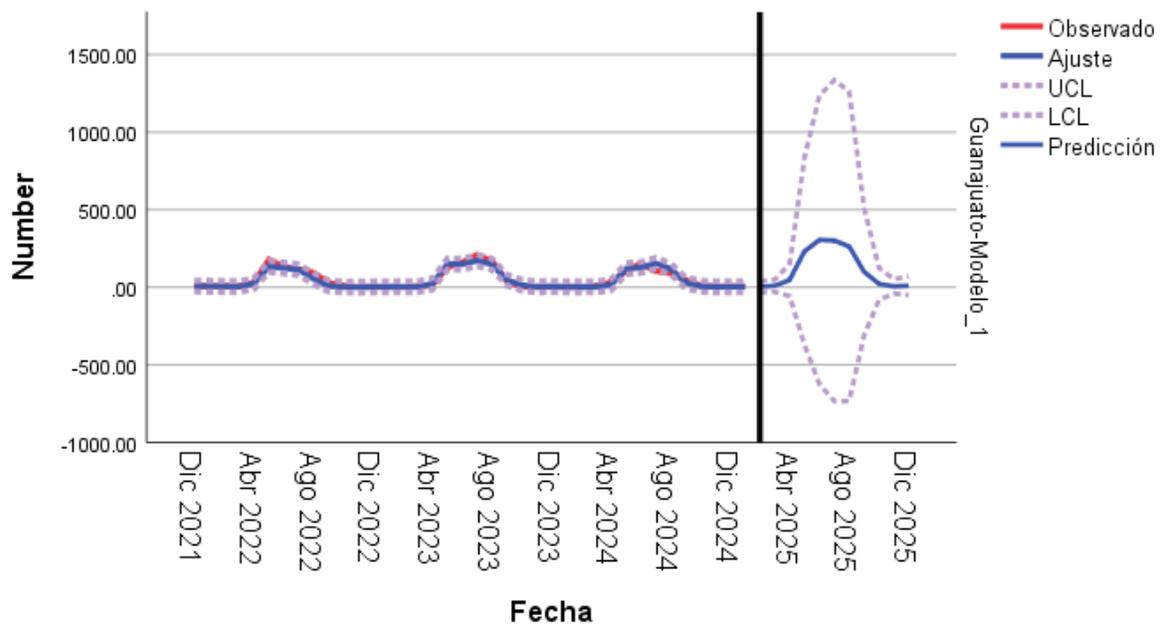


Figura 3. Modelo multiplicativo de Winters para el pronóstico de lluvia en el estado de Guanajuato

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2024.

En el siguiente gráfico, se compara el pronóstico del estado de Guanajuato versus a nivel nacional, en donde se puede observar que a nivel nacional el pronóstico es más atenuado, sobre todo en lo que respecta a los intervalos de confianza.

Con una correlación bivariada de .920 (.000 de significancia) la precipitación del estado de Guanajuato y el pronóstico a nivel nacional obviamente dependen uno del otro, por lo que si se presentan lluvias a nivel nacional existe la probabilidad de que se presenten en el estado de Guanajuato.

Realizando una proyección, para los siguientes 2 años, se observa que para 2026 la probabilidad de niveles de precipitación son más altos, en comparación con años anteriores; aunque los límites de confianza son más amplios, lo que estaría indicando, por el tipo de pronóstico, que exista una probabilidad más alta de que esto suceda así e inclusive de que llueva más de lo esperado, o bien de que los niveles de lluvia sean mucho menores a los esperados. A nivel nacional, por el contrario, se observa que se mantendrá en los mismos niveles de pronóstico de precipitación, es decir, pareciera que a nivel nacional fuera más sencillo hacer un pronóstico de lluvias, cosa que también con estados como Puebla.

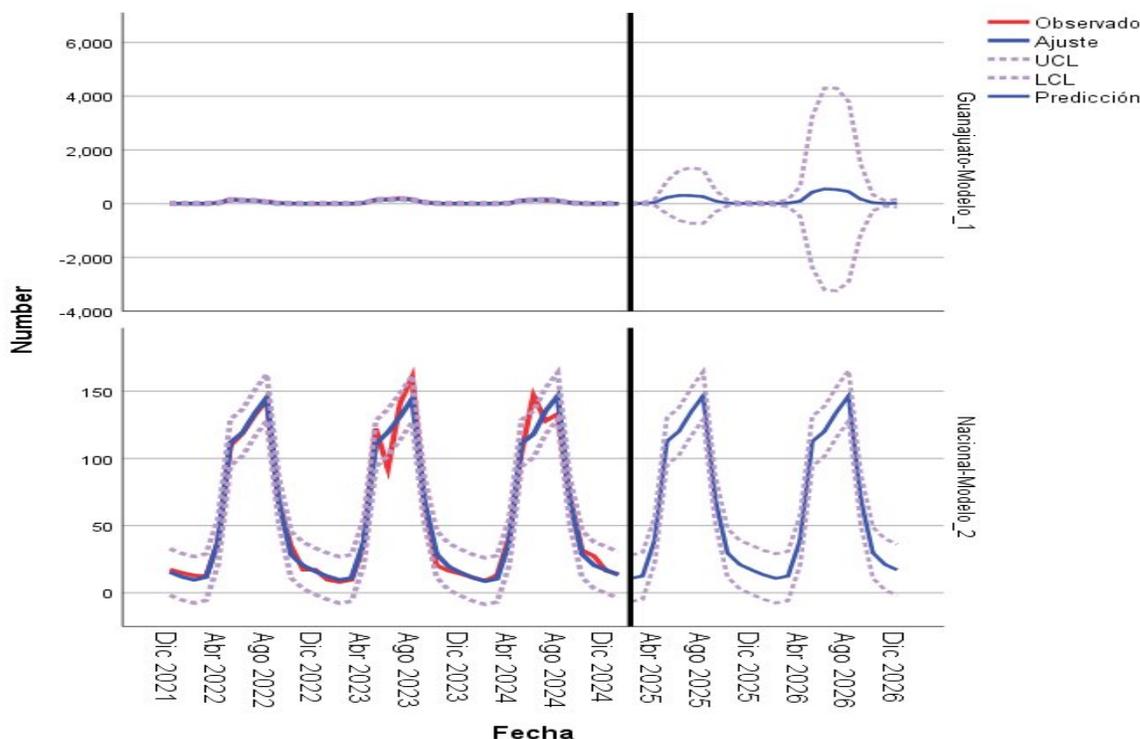


Figura 4. Modelos para el pronóstico de lluvia, Nacional y en el estado de Guanajuato

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2024.

Así mismo, se encontró que el modelo de pronóstico para el estado de Guanajuato es del tipo multiplicativo de *Winters*, mientras que a nivel nacional es solamente estacional simple; ambos toman en consideración el elemento estacional y son muy útiles para realizar predicciones sobre el comportamiento de alguna variable; aunque en el caso del modelo para el estado de Guanajuato, este es un poco más complejo de calcular que el realizado a nivel nacional, dada la variabilidad y complejidad de la variable. Cabe mencionar, que los intervalos de confianza, calculados para el estado de Guanajuato, si bien se alejan demasiado hacia arriba o hacia abajo, eso estaría indicando que existe una cierta probabilidad de que se presenten o bien periodos de escasa precipitación mucho más marcados y extremos (intervalo inferior), lo que supondría una disponibilidad mucho menor de agua para las diferentes actividades productivas (Barrett y Esquivel, 2013) o bien, temporadas de lluvia muy concentrados en ciertos meses, y que además se presenten de manera extrema, ocasionando severos daños debido a la fuerte precipitación.

Descripción del modelo

			Tipo de modelo
ID de modelo	Pronóstico estado de Guanajuato	Modelo_1	Multiplicativo de Winters
	Pronóstico Nacional	Modelo_2	Estacional simple

Estadísticos del modelo

Modelo	Número de predictores	Estadísticos de ajuste del modelo R cuadrado estacionaria	Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
			Estadísticos	DF	Sig.	
Pronóstico estado de Guanajuato-Modelo_1	0	.799	13.979	15	.527	0
Pronóstico Nacional-Modelo_2	0	.837	30.974	16	.014	0

Figura 5. Estadísticos y descripción del modelo predictivo para el estado de Guanajuato

Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA, 2024.

La validez o significancia estadística del modelo de predicción para el estado de Guanajuato se confirma (con una significancia de .527), por lo que la predicción puede ajustarse a los datos observados; lo mismo sucede a nivel nacional, donde los datos analizados se ajustan al modelo proyectado; aunque el modelo a nivel nacional podría considerarse más sencillo, que el que se calculó a nivel del estado de Guanajuato.

Conclusiones

Los modelos estimados, tanto para 2025 como para 2026, indican un ligero aumento en los niveles de precipitación, aunque los intervalos de confianza son muy amplios, por lo que se podría esperar que los niveles de precipitación o sean demasiado altos y concentrados en un muy pocos días, o bien, que los periodos de ausencia de lluvia sean más prolongados, de lo que usualmente ha venido ocurriendo en años anteriores, tal como ya ha ocurrido en días recientes en ciudades como Puebla y Monterrey, donde en un solo día se presentó un altísimo nivel de precipitación que causó estragos en las zonas urbanas.

Si bien se augura un panorama con niveles de precipitación similares a los años anteriores, lo cierto es que cada vez se presenta una mayor demanda del recurso agua, debido a las crecientes necesidades de la industria, la agricultura y las zonas urbanas, por lo que es menester generar estrategias que permitan incrementar la disponibilidad de este recurso, sobre todo en periodos de nula precipitación, lo que permitiría además disminuir la presión ya existente de los cuerpos de agua del estado de Guanajuato. Por ello, se vislumbra a la cosecha de agua como una alternativa que podría contribuir significativamente a solucionar este problema.

Referencias

- Aguilar-Sánchez, G., & De La Cruz-Ángeles, J. (2015). GESTIÓN DEL AGUA EN EL DISTRITO 011, LOS MÓDULOS DE RIEGO DE ACÁMBARO Y SALVATIERRA, GUANAJUATO MÉXICO. *Revista Geográfica de América Central*, 2(55), 153-168.
- Barrett, B. S., & Esquivel Longoria, M. I. (2013). Variability of precipitation and temperature in Guanajuato, Mexico. *Atmósfera*, 26(4), 521-536.
- Bautista-Olivas, A. L., Mendoza Cariño, M., Cruz Bautista, F., Álvarez Chávez, C. R., & Duarte Tagles, H. F. (2018). Potencial de captura de agua atmosférica en el noroeste de México. *Interciencia*, 43(10), 711-715.

- Bueno Pérez, S. E., Marceléño Flores, S., Nájera González, O., & Mota, R. D. (2019). Implementación del método de escasez en la determinación de la huella hídrica en la zona costera de San Blas, México. *Tecnura*, 23(62), 45-54. <https://doi.org/10.14483/22487638.15796>.
- Castillo-Ávalos, Y., & Rovira-Pinto, A. (2013). Eficiencia hídrica en la vivienda. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(4), 159-171.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). Precipitación. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/precipitacion-form>.
- De Alba, F., & Cruz Hernández, C. (2013). Potencialidades conflictivas del stress hídrico: ¿Las resistencias sociales desbordan territorios en México? *Reflexión Política*, 15(30), 24-37.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). Grado de presión sobre el recurso hídrico de las zonas centro y norte del país. <https://agenda2030.mx/ODSind.html?ind=ODS006000950010&cveind=452&cveCob=99&lang=es#/indicator>.
- González Robaina, F., Herrera Puebla, J., Hernández Barreto, O., López Seijas, T., & Cid Lazo, G. (2012). Base de datos sobre necesidades hídricas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2), 42-47.
- Gutiérrez Vaca, C., Serwatowski Hlawinska, R., Cabrera Sixto, J. M., Flores García, Á., & Saldaña Robles, N. (2010). Evaluación de estrés hídrico en plantas de fresa a raíz desnuda. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3), 432-437.
- Guzmán-Soria, E., Hernández-Martínez, J., García-Salazar, J. A., Rebollar-Rebollar, S., de la Garza-Carranza, M. T., & Hernández-Soto, D. (2009). CONSUMO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN GUANAJUATO, MÉXICO. *Agrociencia*, 43(7), 749-761.
- Instituto Mexicano de la Competitividad (IMCO). (2023). Aguas en México: ¿escasez o mala gestión?. <https://imco.org.mx/situacion-del-agua-en-mexico/>.
- Ojeda-Silvera, C. M., Nieto-Garibay, A., Reynaldo-Escobar, I. M., Troyo-Diéguéz, E., Ruiz-Espinoza, F. H., & Murillo-Amador, B. (2013). TOLERANCIA AL ESTRÉS HÍDRICO EN VARIEDADES DE ALBAHACA *Ocimum basilicum* L. *Terra Latinoamericana*, 31(2), 145-154.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). ALMACENAMIENTO DE AGUA EN PRESAS DE USO AGRÍCOLA; consultado: 10 de junio de 2024. Recuperado: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/921658/Bolet_n_Siap_10JUN2024__1_.pdf.
- Valladares, F. (2008). *Ecología del bosque Mediterráneo en un mundo cambiante*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Organismo Autónomo de Parques Nacionales. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=857689>.