

Estrés hídrico y Cosecha de Agua como alternativa en el estado de Guanajuato

Water Stress and Water Harvesting as an Alternative in the State of Guanajuato

Alejandro Ortega Hernández;¹ Marilu Lén Andrade² y Josefina Floriana Raguex Morales³

¹ Profesor de Tiempo Completo, Departamento de Estudios Sociales, Universidad de Guanajuato, correo: a.ortega@ugto.mx.

² Profesora de Tiempo Completo, Departamento de Estudios Sociales, Universidad de Guanajuato, correo: marilu@ugto.mx.

³ Estudiante de la licenciatura de Ciencia Política, Escuela de Ciencia Política, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, correo: josefinaraguexmorales@gmail.com.

Resumen

En el estado de Guanajuato, la violencia se ha recrudecido en los últimos años. Desde finales de 2016, la violencia, producto de las luchas entre diversos cárteles, se incrementó en casi todos los municipios del estado. Pero en algunos con más virulencia, como Celaya, León, Irapuato y en el sur del estado destaca Salvatierra, Tarimoro y Yuriria. La violencia afecta a todos los ámbitos de la sociedad, a todas las clases sociales, pero hay sectores de la población que suelen ser más vulnerables. En el caso en estudio, sabemos que las y los menores que asisten a escuelas secundarias de zonas con alta violencia pueden verse involucrados en hechos violentos y además podrían desarrollar secuelas ante estas situaciones. El objetivo de este trabajo es conocer qué trabajos de cuidado y autocuidado se realizan al interior de las escuelas secundarias, incluso en sus hogares y comunidades, a donde acuden niños/niñas y jóvenes y donde se podrían llegar a reproducir situaciones como las vividas en las calles de Guanajuato.

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

Abstract

The objective of this work is to demonstrate that there is a constant and increasing water stress in the state of Guanajuato and to evaluate the feasibility of water harvesting to reduce the stress in the state of Guanajuato. The statistical analysis of the information constitutes the central methodology in this research, complemented by a current bibliographic analysis and census records and vital statistics to generate some models and projections on the possibility of facing a certain level of water stress. In this regard, we can anticipate that there is increasing water stress in the state and that water harvesting is viable and feasible in order to reduce the water stress.

Introducción

El agua es indispensable tanto para los ecosistemas como para la agricultura, pero sobre todo para la industria y las diversas actividades que se realizan en las zonas urbanas, por lo que enfrentamos ya una crisis del recurso hídrico (Bueno et al, 2019) o bien de una crisis hídrica (de Alba y cruz, 2013), así como de un riesgo para todos los sectores económicos que conforman la Economía Mexicana. Aunque existe una controversia en quien consume más agua, si la agricultura (IMCO, 2023), las zonas urbanas (Castillo y Rovira, 2013) e inclusive las actividades industriales, este trabajo sostiene que es la industria la que en última instancia consume las mayores cantidades de agua, para producir inclusive bienes de consumo suntuoso; por ejemplo, téngase en cuenta el asentamiento de la planta en ensamblaje Audi en el una zona con una alta disponibilidad de agua, en la zona de los Llanos de San Andrés, en el municipio de San José Chiapa, en el estado de Puebla. Por ello, el asunto del agua forma parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, 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 apremiante 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) si tenemos en consideración el incremento del fenómeno de la sequía que se viene presentando en el estado desde 2022; lo que agudiza aún más la presión sobre el agua, la competencia por la misma y la necesidad de racionalizar su uso, tal como sucedió durante 2024, en el estado de Guanajuato, en donde sólo se dispuso de un solo riego para el DDR 011, a partir del caudal que fluye por el río Lerma.

Así, el objetivo de este trabajo es demostrar que existe un constante y creciente estrés hídrico en el estado de Guanajuato, y evaluar la factibilidad de la cosecha de agua, para reducir el estrés del estado de Guanajuato. Por lo que se generaron dos proyecciones, respecto al pronóstico de sequía para los 46 municipios del estado de Guanajuato, uno proyectado a 2025 y uno a 2026, aunque sólo se presentaron algunos de los más representativos. Así como una proyección sobre los niveles de precipitación a partir de 34 observaciones sobre niveles promedio de precipitación generados por CONAGUA..

Entorno al concepto de estrés hídrico

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, aunque el incremento de la demanda de agua, la gestión de este recurso, así como el fenómeno de la sequía también inciden en el aumento o disminución del estrés hídrico. 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 (sequía), 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..

El Fenómeno de la Sequía en México y Guatemala

Existen infinitas definiciones de Sequía, la mayoría de ellas tienen un común denominador, y resaltan que es “un fenómeno natural que afecta negativamente a nivel internacional”. Este fenómeno provoca que la disponibilidad de agua (un recurso esencial en la vida) se vea afectada de manera negativa y con ello pueda interrumpir el ciclo del agua. Los efectos nocivos de la sequía son de carácter físico a corto plazo es decir escasez o falta de agua para diversas actividades cotidianas y de carácter ambiental, esto se refiere a daños irreversibles en el ambiente, así también, en las diversas actividades económicas. (Ortega , 2018, 77-105).

En Guatemala, el fenómeno de la sequía ha generado mucha más pérdida en términos económicos, por ejemplo; en el sector agropecuario y esto implica un limitado acceso hacia los principales alimentos para la población guatemalteca, es decir un alza en el precio de los artículos de consumo, compromete a la sociedad a no poder acceder a ella. Es por ello que la variabilidad del clima no difiere tanto en cuanto a las consecuencias tanto en México como en Guatemala, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Comparación de los Impactos que genera la sequía en México y Guatemala durante el periodo de 2009 a 2010.

Año	País	Impacto
2009	México	Caída de la producción de granos, principalmente de maíz. Segunda peor sequía.
2009	Guatemala	Reducción de la lluvia, esto produjo daños en los granos de frijol y maíz y del café
2010	México	En su momento las regiones húmedas paulatinamente fueron secándose, para dar paso a la sequía
2010	Guatemala	Pérdida alrededor del 55% de maíz en Quiché, generado por la precipitación pluvial

Materiales y Métodos

El objetivo de este trabajo es demostrar que existe un constante y creciente estrés hídrico en el estado de Guanajuato, y evaluar la factibilidad de la cosecha de agua, para reducir el estrés del estado de Guanajuato. 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. 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 (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 general 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"; esto para el caso de la precipitación. Y un modelo Estacional Simple para el caso de la predicción de la variable sequía. 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

En el siguiente gráfico se ilustra la evolución de la sequía en el estado de Guanajuato, para un periodo de 17 meses, en el cual, han aumentado los momentos de "sequía extrema", "sequía excepcional" y la "sequía moderada, en tonos guinda, rojo y marrón; de izquierda a derecha se observa que se inicia en noviembre de 2022, con un proceso de sequía considerado "anormalmente seco", pasando a grados más extremos de dicho fenómeno. Por ende, puede afirmarse que para el estado de Guanajuato se ha agudizado el fenómeno de la sequía, el cual constituye una variable que agudiza el fenómeno del estrés hídrico.

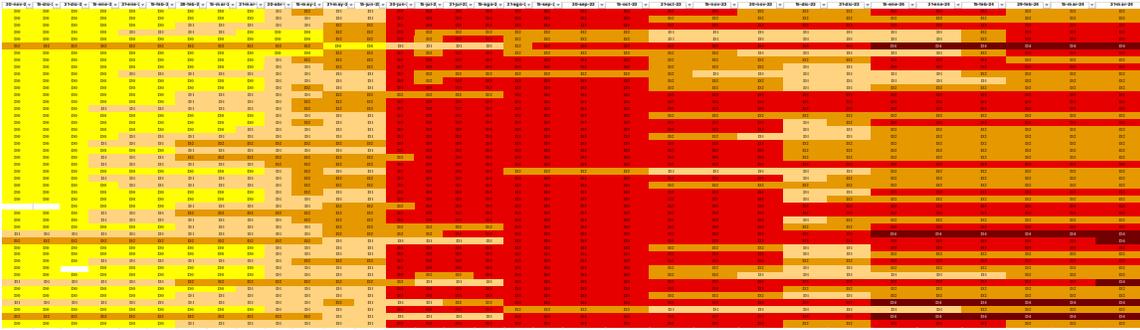


Figura 1. Clasificación de la sequía de acuerdo al monitor de sequía, para los 46 municipios del estado de Guanajuato, noviembre 2022 - marzo 2024.

En la figura 2, se puede observar la formación de 3 clústeres, más o menos claros, que corresponden al nivel de sequía que han enfrentado; un primer clúster, conformado por 32 municipios, los cuales comparten características similares, y este primer clúster, a su vez conformado por pequeños clústeres; un segundo clúster, conformado por 6 municipios, 5 de ellos aledaños al municipio de Celaya, y sólo uno, Coroneo, que pudiera considerarse que sale un poco del patrón, pero que comparte el mismo comportamiento de la sequía; y un tercer clúster, conformado por 6 municipios, todos ellos aledaños y ubicados en el noreste del estado. Con estos datos, ya podríamos estar hablando de 3 clústeres o de 3 tipos de comportamiento de la sequía en el estado de Guanajuato.

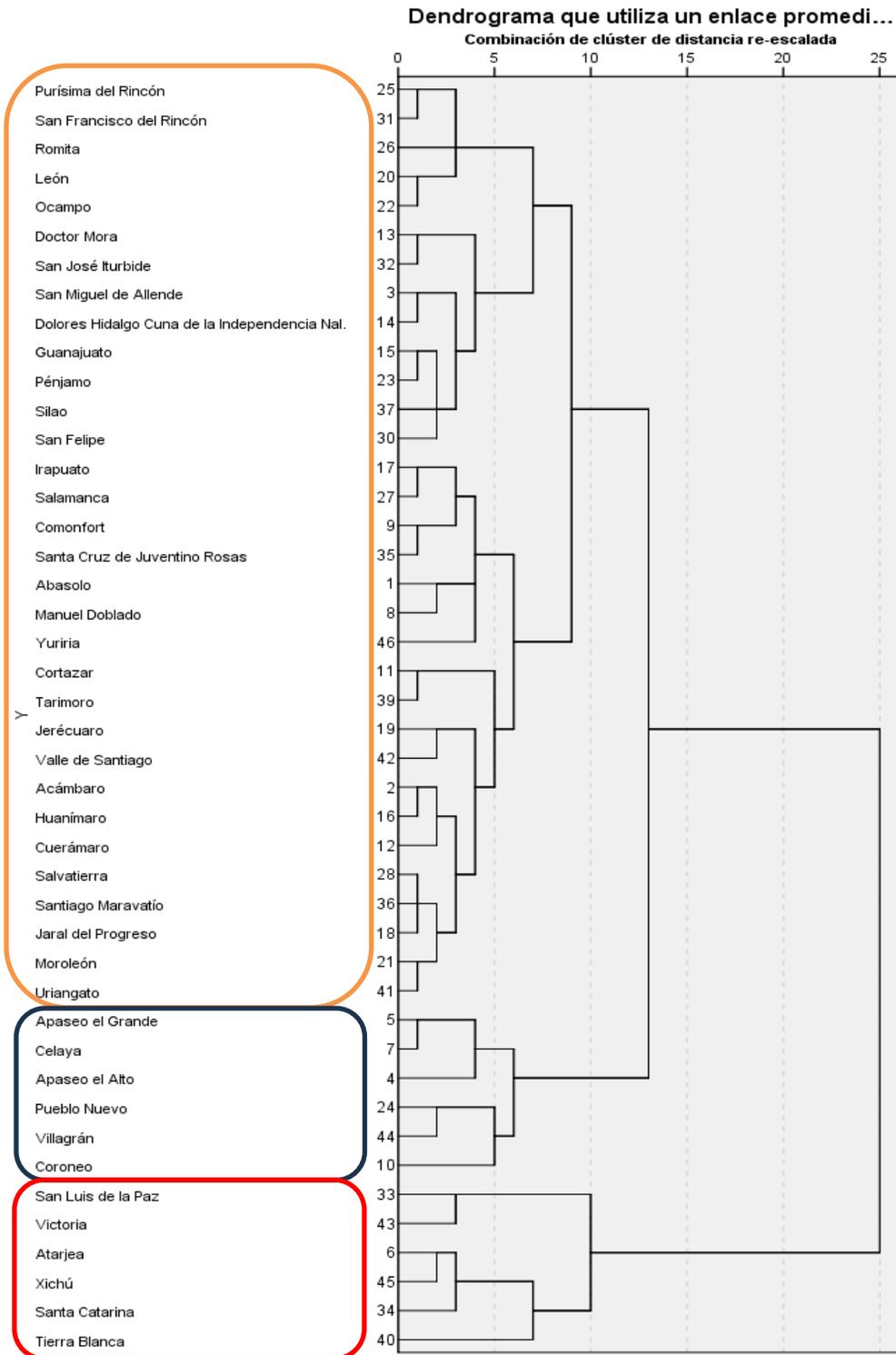


Figura 2. Formación de clústeres a partir del nivel de sequía, por municipio.

A nivel nacional, la figura 1 ilustra la presión que existe sobre el recurso hídrico en los últimos 10 años, en donde el grado de presión ha ido en aumento año con año (Bautista et al, 2018), aunque a un ritmo decreciente, aunque no se debe menospreciar el efecto que tendrá el crecimiento económico, tanto a nivel nacional como a nivel mundial y la necesidad de disponer de una mayor cantidad de agua para la producción, sobre todo de la industria y la agricultura de exportación. 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 cumplirse esta estimaciones, la presión sobre este recurso escaso seguiría en aumento, si México continua siendo unas de las principales económicas 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 3 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).

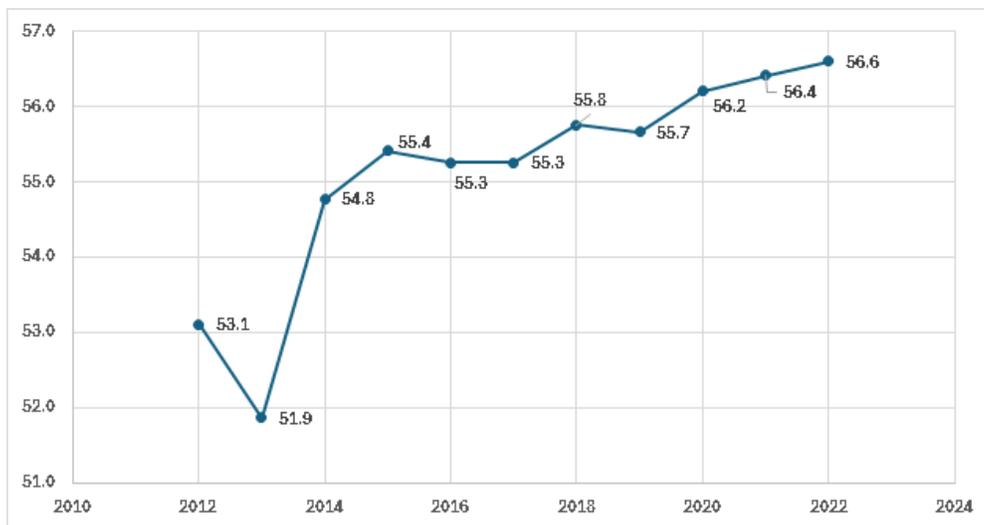


Figura 3. Grado de presión sobre el recurso hídrico de las zonas centro y norte del país
 Fuente: elaborado con datos del IMCO (2023).

En el siguiente gráfico, se ilustra el pronóstico de sequía para el municipio de Salvatierra, construido con datos que van desde noviembre de 2022 hasta marzo de 2024, y en donde se puede observar que el fenómeno de la sequía para 2025 y 2026 puede presentar un ligero descenso, lo que a su vez amortiguaría el fenómeno del estrés hídrico en el municipio para los siguientes dos años venideros.

Estadísticos del modelo

Modelo	Número de predictores	Estadísticos de ajuste del modelo		Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
		R cuadrado estacionaria	R cuadrado	Estadísticos	DF	Sig.	
Salvatierra-Modelo_1	0	.568	.641	15.798	16	.467	0

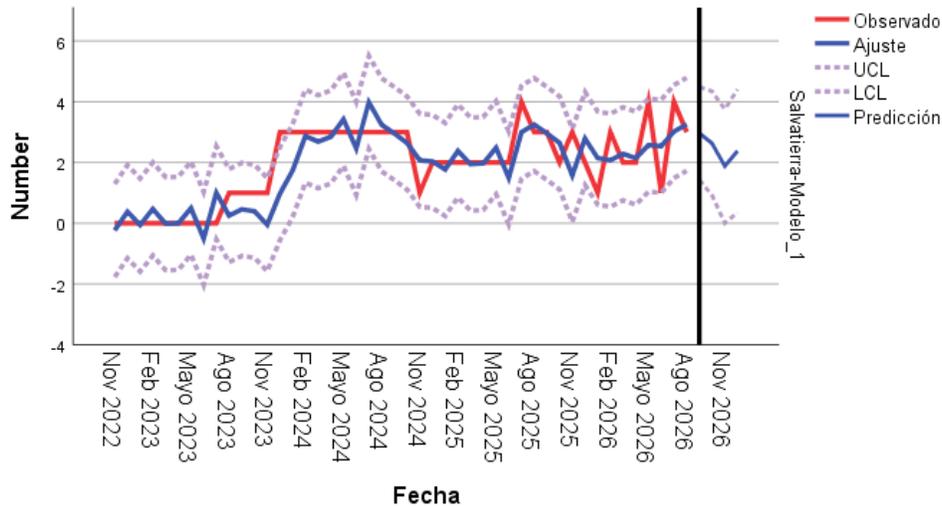


Figura 4. Pronóstico de precipitación para el estado de Guanajuato.

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 4).

Llama la atención (en la figura 5) 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 4 y 5, 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.

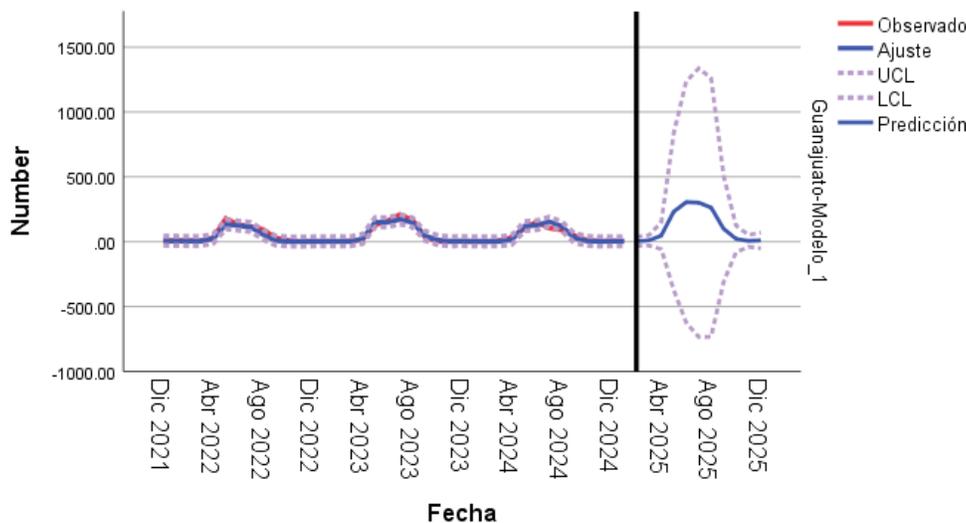


Figura 5. Modelo multiplicativo de Winters para el pronóstico de lluvia en el estado de Guanajuato

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.

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. Así mismo, el modelo estimado para el municipio de Salvatierra mostró una ligera disminución en el comportamiento del fenómeno de la sequía, lo cual, al combinarse ambas variables, podría pensarse que el problema del estrés hídrico podría verse atenuado en los años 2025 y 2026.

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.

Finalmente, en posteriores investigaciones se visualiza generar modelos a partir de la técnica de redes neuronales, donde se puedan combinar variables categóricas, ordinales, escalares y nominales, con diferentes periodicidades inclusive, donde se combinen las variables aquí analizadas, más otras que puedan complementar el análisis, en aras de generar mejores predicciones sobre el estrés hídrico, la precipitación y la sequía.

Bibliografía/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., Marceléno 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#/indicador>.
- 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-Diéguez, 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>.