

Evaluación del estrés hídrico en el estado de Guanajuato considerando las demandas y la disponibilidad de las fuentes a través del índice de escasez hídrica

Assessment of water stress in the state of Guanajuato considering the demands and availability of sources through the water scarcity index

David Alonso Rocha Díaz¹, Felipe de Jesús Ruiz Chávez², Joanna Alicia Gutiérrez Pérez³, Ismael Orozco Medina^{3*}

¹Licenciatura en Ingeniería Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, México.

²Maestría en Ciencias del Agua, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, México.

³Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, 36000, Guanajuato, México; i.orozco@ugto.mx

*Autor de correspondencia

Resumen

En regiones semiáridas del planeta es de gran importancia evaluar el grado de estrés hídrico al que se someten las fuentes de abastecimiento debido a la baja disponibilidad de agua. Lo anterior adquiere una mayor relevancia con la tendencia creciente de las demandas y la alteración en los patrones de precipitación que tienden hacia la sequía derivadas de los efectos del cambio climático. Este estudio evaluó el grado de estrés hídrico que presentan los municipios del estado de Guanajuato considerando las demandas y la disponibilidad de las fuentes mediante el uso del índice de escasez hídrica. Los resultados obtenidos muestran que el 86% de los municipios presentan un grado de estrés hídrico de medio a extremadamente alto. Asimismo, se ha observado que solo el 11% de los municipios disminuye su estrés hídrico cuando se implementa el riego tecnificado por goteo con una eficiencia del 95%, y su disminución ocurre seis años después de su implementación.

Palabras clave: Grado de estrés hídrico; índice de escasez hídrica; disponibilidad hídrica.

Abstract

In semi-arid regions of the planet, it is of great importance to evaluate the degree of water stress experienced by supply sources due to the low availability of water. This becomes even more relevant with the increasing demand and the alteration in precipitation patterns trending towards drought because of climate change. This study evaluated the degree of water stress in the municipalities of Guanajuato by considering the demands and availability of sources, using the water scarcity index. The results show that 86% of the municipalities have a degree of water stress ranging from moderate to extremely high. Additionally, it was observed that only 11% of the municipalities reduce their water stress when drip irrigation with 95% efficiency is implemented, and this reduction occurs six years after its implementation.

Keywords: Degree of water stress; water scarcity index; water availability.

Recibido: 17 de octubre de 2023

Aceptado: 11 de junio de 2024

Publicado: 28 de agosto de 2024

Cómo citar: Rocha, Díaz, D. A., Ruiz Chávez, F. J., Gutiérrez Pérez, J. A., & Orozco Medina, I. (2024). Evaluación del estrés hídrico en el estado de Guanajuato considerando las demandas y la disponibilidad de las fuentes a través del índice de escasez hídrica. *Acta Universitaria* 34, e4035. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2024.4035>

Introducción

En regiones semiáridas del planeta es de gran importancia evaluar el grado de estrés hídrico al que se someten las fuentes de abastecimiento debido a la baja disponibilidad de agua (Wada *et al.*, 2011). La escasez hídrica es un concepto relativo y dinámico, y puede presentarse a cualquier nivel de suministro o demanda (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013). La escasez hídrica tiene lugar cuando la demanda supera el suministro de agua dulce en un área determinada (FAO, 2013). También es una construcción social en donde todas sus causas están relacionadas con la intervención humana en el ciclo hidrológico (Padilla, 2012). Según Veldkamp *et al.* (2015), la escasez hídrica cambia con el tiempo a consecuencia de la variabilidad hidrológica natural, pero varía aún más en función de los modelos existentes de gestión, planificación y política económica. Según Distefano & Kelly (2017), se espera que la escasez hídrica se intensifique en casi todas las formas de desarrollo económico, pero si se identifican correctamente, muchas de sus causas pueden anticiparse, evitarse o mitigarse.

Es muy importante diferenciar la sequía de la escasez hídrica, ya que podrían parecer lo mismo; sin embargo, son conceptos que representan fenómenos diferentes. Mientras que la sequía es un fenómeno natural que termina cuando llegan las precipitaciones y se recupera el nivel normal de los cuerpos de agua, la escasez hídrica puede persistir con o sin lluvias y sin que ocurra una sequía, puesto que este fenómeno se debe a la acción humana y consiste en extraer y consumir más agua de la que se logra recargar y de la que se encuentra en existencia y disposición (Esparza, 2014).

La escasez hídrica se ha convertido en uno de los mayores problemas a nivel global (Tzanakakis *et al.*, 2020). Según Nava *et al.* (2024), es un problema de interés mundial caracterizado por la convergencia de una diversidad de actores y opiniones. En este contexto, México no es la excepción porque presenta una problemática hídrica, principalmente en la zona centro y norte del país (Pacheco-Treviño & Manzano-Camarillo, 2024). Ejemplo de ello es que, de los 653 acuíferos del país, 275 no cuentan con disponibilidad hídrica. Este 42% de acuíferos sin disponibilidad se encuentran ubicados mayormente en la parte centro y norte del país (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2022).

Lo anterior es consecuencia del crecimiento de la demanda para el abastecimiento público y el asentamiento de nuevas industrias, sin dejar a un lado el sector agrícola, el cual, hoy en día, es el de mayor demanda con el 75.74% del uso consuntivo total a nivel nacional (Conagua, 2022). En el caso del estado de Guanajuato, el Diagnóstico Climatológico y Prospectiva sobre Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Estado de Guanajuato (Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial [SMAOT], 2010) del Instituto de Ecología señala que desde 1998 el déficit hídrico ha aumentado de manera drástica, situando al estado en una situación de sobreexplotación. Según Conagua (2022), 19 de los 20 acuíferos del estado presentan déficits anuales y un abatimiento medio de los niveles freáticos de 1.7 m/año. Asimismo, se proyecta para el estado un aumento del grado de presión en el recurso hídrico muy alto con un incremento del 122% en el año 2030 (Conagua, 2022).

Aunado a lo anterior, se proyecta una disminución en la disponibilidad de agua de las presas del estado, pues su volumen es de 1,303 hm³. Sin embargo, en el año 2020, la disponibilidad de las fuentes superficiales fue de solo 819 hm³. Esto evidencia una reducción significativa en la disponibilidad de agua superficial. Dicha disminución resalta la tendencia de las proyecciones y la necesidad urgente de implementar estrategias de gestión y conservación del agua para asegurar un suministro adecuado y sostenible a largo plazo.

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR, 2020), la situación previamente mencionada se complica cuando se combinan otros efectos climáticos adversos, como el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones. Según SMOAT (2021), se proyecta una reducción en las precipitaciones anuales del 5% en los años lluviosos y del 25% en los años secos para el periodo de 2020 a 2045. Esto generará situaciones de estrés en las fuentes de agua y, por ende, en la agricultura y en los otros usos consuntivos de la región.

A pesar de la trascendencia de la problemática hídrica, no existen estudios que cuantifiquen de manera precisa el grado de estrés hídrico, lo cual dificulta la formulación de políticas y estrategias efectivas para la gestión sostenible del agua y limita la capacidad para responder adecuadamente a las crecientes demandas y desafíos asociados con la escasez de agua. Con base en lo anterior, el presente estudio evalúa el potencial grado de estrés hídrico en los municipios del estado de Guanajuato considerando las demandas y la disponibilidad de las fuentes a través del índice de escasez hídrica. Este índice permitirá una comprensión más robusta de la disponibilidad y las demandas de agua, facilitando la identificación de áreas críticas y la planificación de estrategias de gestión sostenible del recurso hídrico.

Caso de estudio

En la presente investigación se ha usado como caso de estudio el estado de Guanajuato, que cuenta con un área de 30 606 km² (Conagua, 2022) y representa el 1.6% del territorio mexicano (Figura 1). Se ha seleccionado este estado por las problemáticas hídricas que enfrenta el bajío mexicano. Además, el estado se encuentra en la región semiárida de México, con importantes desafíos por su clima árido y por sus características geográficas y ambientales particulares. El 43% de la superficie del estado se caracteriza por un clima seco y semiseco en la región norte, el 33% por un clima cálido subhúmedo en la parte suroeste y el 24% restante por un clima templado subhúmedo (Coordinación Estatal de Protección Civil de Guanajuato [CEPCG], 2018). La temperatura promedio más alta oscila los 30 °C, la cual se presenta en los meses de mayo y junio, y la más baja oscila los 5.2 °C, en el mes de enero (CEPCG, 2018).

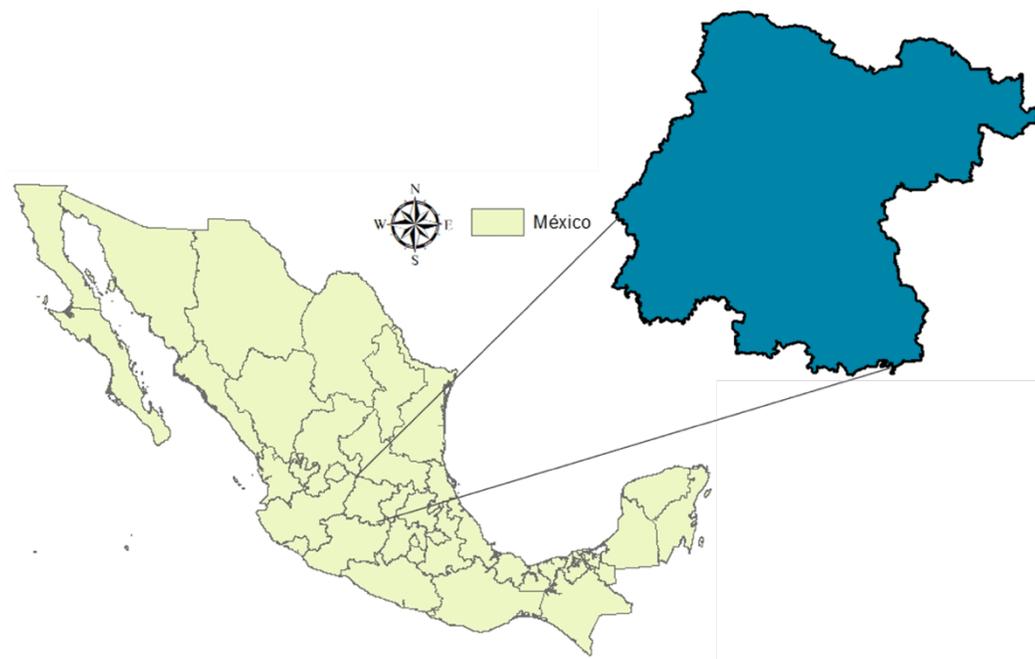


Figura 1. Ubicación del estado de Guanajuato utilizado como caso de estudio en la presente investigación.
Fuente: Elaboración propia.

Las precipitaciones se presentan en verano, principalmente en los meses de junio a septiembre. La precipitación acumulada media anual del estado es de 605 mm (Conagua, 2022). Con base en la red de estaciones meteorológicas de la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG), se tiene una evapotranspiración media anual de 765 mm. Es importante comentar que el estado está constituido por 46 municipios, con una población que varía de los 5296 a 1 721 215 habitantes (INEGI, 2020) (Tabla 1).

Tabla 1. Claves de los municipios que comprenden el estado de Guanajuato.

Clave Municipio	Nombre Municipio	Clave Municipio	Nombre Municipio
001	Abasolo	024	Pueblo Nuevo
002	Acámbaro	025	Purísima del Rincón
003	San Miguel de Allende	026	Romita
004	Apaseo el Alto	027	Salamanca
005	Apaseo el Grande	028	Salvatierra
006	Atarjea	029	San Diego de la Unión
007	Celaya	030	San Felipe
008	Manuel Doblado	031	San Francisco del Rincón
009	Comonfort	032	San José Iturbide
010	Coroneo	033	San Luis de la Paz
011	Cortázar	034	Santa Catarina
012	Cuerámaro	035	Santa Cruz de Juventino Rosas
013	Doctor Mora	036	Santiago Maravatio
014	Dolores Hidalgo	037	Silao de la Victoria
015	Guanajuato	038	Tarandacua
016	Huanímaro	039	Tarimoro
017	Irapuato	040	Tierra Blanca
018	Jaral del Progreso	041	Uriangato
019	Jerécuaro	042	Valle de Santiago
020	León	043	Victoria
021	Moroleón	044	Villagrán
022	Ocampo	045	Xichú
023	Pénjamo	046	Yuriria

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la información del Registro Público de Derechos del Agua administrado por la Conagua (Repda-Conagua), los municipios con volúmenes concesionados más altos son Salamanca, Irapuato, Celaya, Pénjamo y Acámbaro (Figura 2). Lo anterior se debe a la combinación de usos consuntivos con importantes demandas agrícolas e industriales.

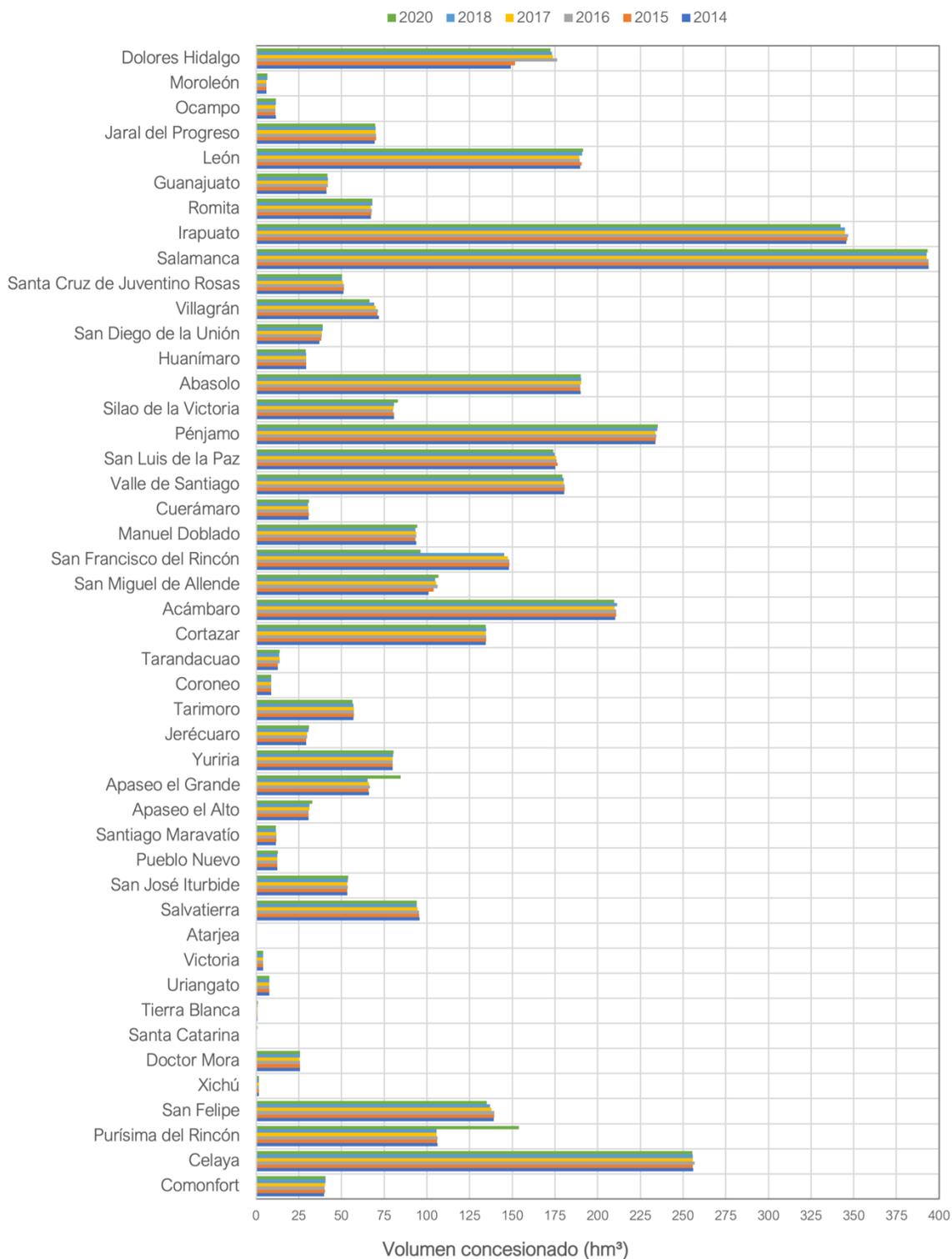


Figura 2. Volúmenes concesionados por municipio en el estado de Guanajuato.
Fuente: Elaboración propia.

En el mismo contexto, y según datos del año 2020 del Sistema Nacional de Información del Agua de la Conagua (SINA-Conagua), en el estado se tienen identificados y cuantificados los siguientes usos consuntivos (Tabla 2).

Tabla 2. Usos consuntivos del estado de Guanajuato en el año 2020.

Uso consuntivo	Fuente de abastecimiento		Volumen total (hm ³)
	Superficial (hm ³)	Subterránea (hm ³)	
Agrícola		3381.16*	3381.16
Público-urbano	94.03	463.03	557.06
Industrial	0.00	88.16	88.16
Múltiple**	10.08	44.50	54.58
Energía eléctrica	0.00	20.54	20.54
Servicios turismo	0.38	14.82	15.20
Pecuario	0.86	5.23	6.09
Doméstico	0.07	0.47	0.54
Agroindustrial	0.00	0.53	0.53
Acuacultura		0.29*	0.29
Otros	0.11	0.00	0.11

*No se tiene cuantificada por fuente.
**Utilización del agua en más de uno de los usos consuntivos.

Fuente: Elaboración propia con información del SINA-Conagua.

Como se puede observar, el mayor uso consuntivo es el agrícola. Y es que en el estado de Guanajuato se tiene una superficie agrícola de 1 231 000 ha. Dos terceras partes del área agrícola tienen un régimen de humedad de temporal, en tanto que la tercera parte restante (437 000 ha) cuenta con riego. De la superficie con riego, aproximadamente 250 000 ha (20% del total de la superficie agrícola) utilizan agua subterránea. Por otra parte, las 187 000 ha restantes del área agrícola con riego (15%) usan agua de fuentes superficiales, como son: presas, bordos y pequeñas obras de irrigación (SDAyR, 2020). Con base en los usos consuntivos mencionados, y de acuerdo con la información reportada en el SINA-Conagua para el periodo de 2014 al 2020, la disponibilidad superficial y subterránea en el estado presenta déficits significativos y con variación espaciotemporal importante (Figura 3 y 4).

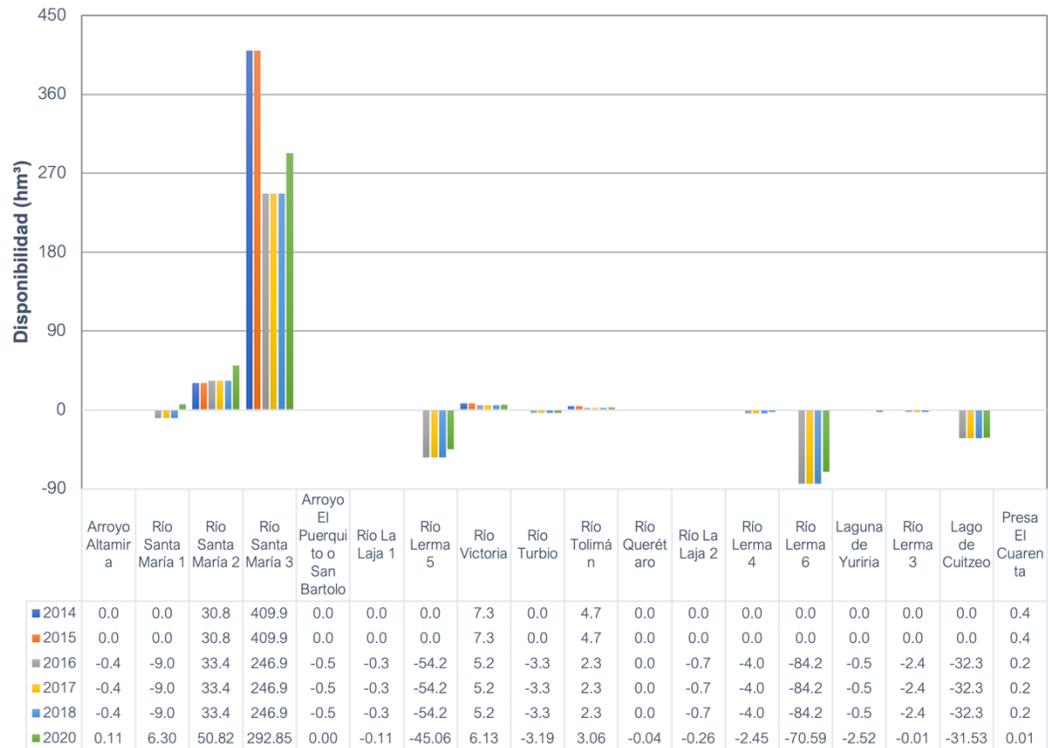


Figura 3. Disponibilidad de las cuencas hidrológicas del estado de Guanajuato.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Disponibilidad de los acuíferos del estado de Guanajuato.
Fuente: Elaboración propia.

Materiales y métodos

En la evaluación del estrés hídrico del estado de Guanajuato se ha usado el índice de estrés hídrico (WSI, por sus siglas en inglés) propuesto por Vörösmarty *et al.* (2005). Según Hernández-Romero *et al.* (2019), el WSI es uno de los índices más empleados para cuantificar el grado de estrés hídrico de una cuenca o región. El WSI fue posteriormente modificado por Smakhtin *et al.* (2004), quienes incluyeron los requerimientos ambientales de agua. A diferencia de trabajos previos, en la presente investigación se han incluido los requerimientos ambientales de agua en la cuantificación del grado de estrés hídrico mediante el WSI. El grado de estrés hídrico es clasificado usando las seis categorías propuestas por Hernández-Romero *et al.* (2019). En la Tabla 3 se presenta los rangos de las seis categorías que se usan para clasificar el estrés hídrico mediante el WSI.

Tabla 3. Clasificación del WSI usado para evaluar el grado de estrés hídrico.

Grado	Valor
Sin estrés	$WSI < 0.1$
Bajo	$0.11 < WSI < 0.2$
Medio	$0.21 < WSI < 0.4$
Alto	$0.41 < WSI < 0.8$
Muy Alto	$0.81 < WSI < 1.0$
Extremadamente Alto	$WSI > 1.0$

Fuente: Hernández-Romero *et al.* (2019).

En la cuantificación del estrés hídrico se ha empleado la ecuación propuesta por Hernández-Romero *et al.* (2019) y que para fines de un mayor entendimiento se han renombrado las variables que emplea:

$$WSI = \frac{DA_m}{DASS_m - RAA} \quad (1)$$

donde DA_m es la demanda de agua anual de los diferentes usos consuntivos a escala municipal ($hm^3/año$), $DASS_m$ es la disponibilidad natural de agua superficial y subterránea a escala municipal ($hm^3/año$) y RAA son los requerimientos ambientales de agua ($hm^3/año$). En la cuantificación de DA_m se consideraron los usos consuntivos a escala municipal presentados en la Tabla 1 (UCM) empleando la ecuación 2.

$$DA_m = \sum UCM \quad (2)$$

La información para cuantificar DA_m y $DASS_m$ a escala municipal se ha obtenido del SINA-Conagua para el periodo de 2014 al 2020, a excepción del año 2019, del cual no se tiene información disponible en el SINA-Conagua. En el caso de los RAA , se asignó un 30% de la disponibilidad de agua superficial para todos los municipios del estado de Guanajuato. Lo anterior se hizo considerando la recomendación para el mantenimiento en buenas condiciones y supervivencia de la mayoría de las formas de vida acuática de los ecosistemas dependientes del agua dulce (Tennant, 1976). Una de las ventajas de incluir un porcentaje de los RAA es que permite una cuantificación del WSI más realista bajo un enfoque de sostenibilidad-ambiental a escala municipal. Sin embargo, no existe evidencia de su implementación basada en la disponibilidad hídrica y la gestión específica de cada municipio.

Además de evaluar el estrés hídrico en la presente investigación, se analizó el efecto de una medida de mitigación ante el potencial estrés hídrico del estado debido a las demandas de los diferentes usos consuntivos y la disponibilidad de las fuentes de abastecimiento. La medida de mitigación se plantea bajo un escenario ficticio de riego tecnificado por goteo en las áreas de cultivo de los municipios del estado. Se propone la tecnificación por goteo con una eficiencia del 95% y bajo la hipótesis de que en las áreas agrícolas de Guanajuato esta tecnificación puede ser implementada si existe el recurso económico y financiamiento necesario para su mantenimiento. Los requerimientos de riego bajo una eficiencia de 95% fueron estimados mediante la ecuación siguiente:

$$V_a = \frac{(RRa)(A)}{Ef} \quad (3)$$

donde V_a es el volumen total anual requerido para riego (hm^3), RRa son los requerimientos de riego anual (mm), A es el área de cultivo (ha) y, finalmente, Ef es la eficiencia de riego (adimensional). En el caso de RRa , se obtuvieron del portal SINA-Conagua y A ha sido obtenido del mapa del uso de suelo y cubierta vegetal de INEGI. Finalmente, el volumen total anual requerido para riego del escenario fue incluido en la sumatoria de DA_m (ecuación 2). Lo anterior se hizo para evaluar el efecto espacial y temporal de la tecnificación del riego propuesta sobre el potencial estrés hídrico del estado de Guanajuato.

Resultados y discusión

Al evaluar los volúmenes de los usos consuntivos considerados para cada uno de los municipios del estado de Guanajuato, se encontraron variaciones muy altas, principalmente para los usos agrícola e industrial. Por ejemplo, los municipios con los mayores volúmenes concesionados son: Salamanca, Irapuato, Celaya, Pénjamo y Acámbaro. Esto ha provocado que la mayoría de la $DASS_m$ presente déficits superficiales y subterráneos. El 100% de los municipios del estado se abastecen de agua subterránea. Por ejemplo, en el año 2020 las extracciones de agua subterránea para satisfacer las demandas de los diferentes usos consuntivos representaron el 86%, mientras que sólo el 14% fue de fuentes superficiales. Al aplicar el WSI, se ha obtenido que la mayoría de los municipios tienen un grado de estrés hídrico extremadamente alto. En la Figura 5 se presenta el grado de estrés hídrico de cada municipio en el periodo de 2014 a 2020. En términos generales, se observa una afectación significativa con un grado de estrés hídrico extremadamente alto en el 86% de los municipios del estado.

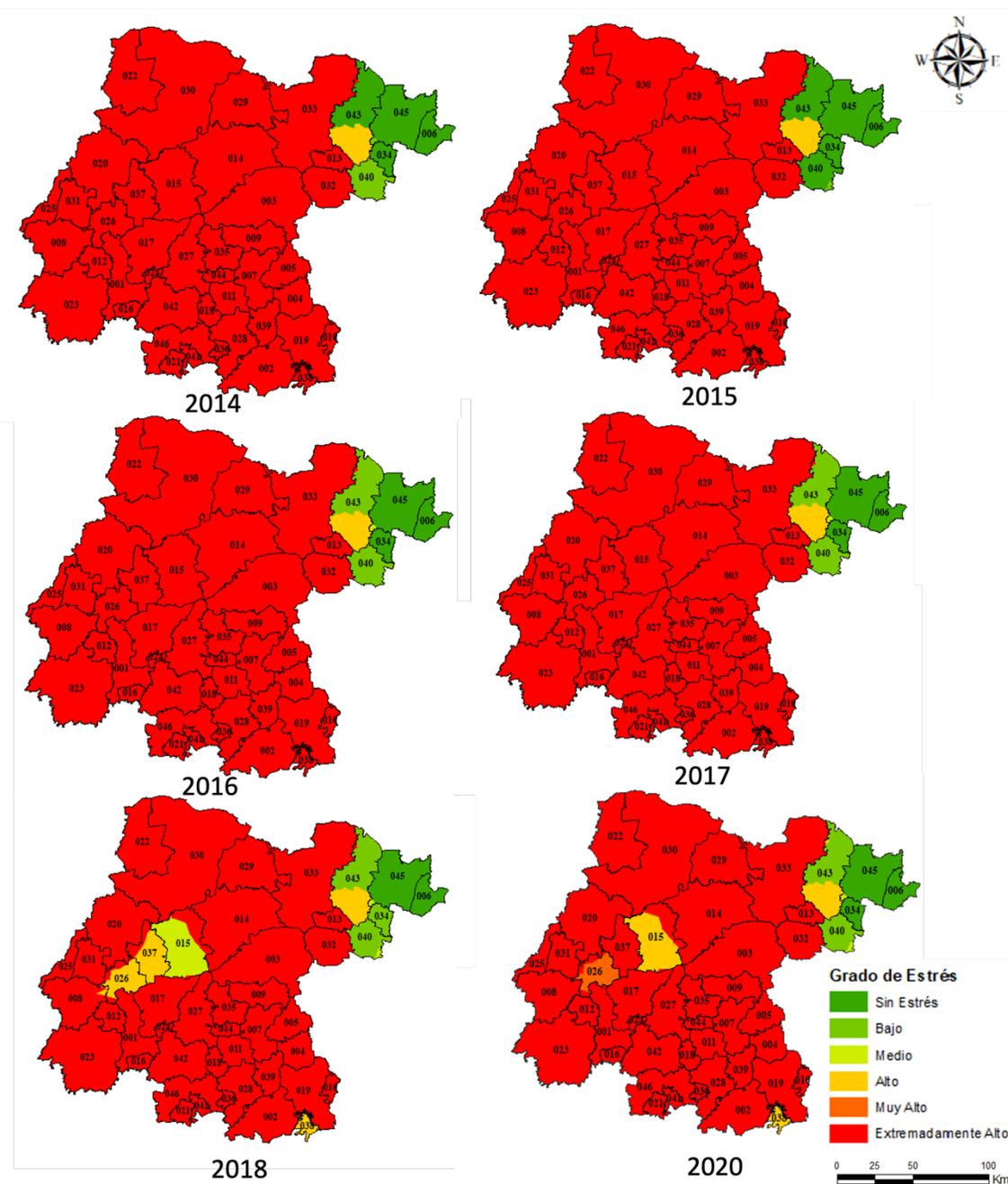


Figura 5. Grado de estrés hídrico en los municipios del estado de Guanajuato con base en el WSI.
Fuente: Elaboración propia.

Los municipios como Atarjea, Santa Catarina, Tierra Blanca, Xichú y Victoria son los que menor estrés hídrico presentan. Lo anterior se debe a que en estos municipios el volumen concesionado para el sector agrícola es menor en comparación con los municipios de Salamanca, Irapuato, Pénjamo, Valle de Santiago y Yuriria (Tabla 4). Además, los acuíferos de Xichú-Atarjea y Ocampo no presentan déficits, garantizando la satisfacción de las demandas de dichos municipios.

Tabla 4. Volumen concesionado en el sector agrícola en el año 2020.

Municipio	Volumen (hm ³ /año)
Atarjea	0
Santa Catarina	0.215
Tierra Blanca	0.307
Xichú	0.469
Victoria	2.991
Salamanca	306.087
Irapuato	277.589
Pénjamo	228.023
Valle de Santiago	172.672
Yuriria	75.738

Fuente: Elaboración propia.

El abastecimiento público-urbano también tiene una influencia significativa en los resultados obtenidos, ya que es el segundo uso consuntivo con mayor volumen concesionado en el estado, específicamente en los municipios de León, Salamanca, Irapuato y Celaya, que son las ciudades con una mayor densidad poblacional y una alta tasa de crecimiento urbano. En cambio, en los municipios de la zona noreste del estado se ha observado una disminución de la población a lo largo de los años debido a la migración.

En el caso de los resultados bajo el escenario de riego tecnificado por goteo se ha obtenido que la mayoría de los municipios del estado no presentan cambios en su estrés hídrico durante el periodo evaluado (Figura 6). También se ha observado que solo el 11% de los municipios han cambiado su grado de estrés hídrico de extremadamente alto a niveles más bajos, mejorando su condición de alto a medio, de medio a bajo, o incluso alcanzando el nivel sin estrés hídrico (Figura 6). Sin embargo, los efectos del riego tecnificado por goteo en la disminución del estrés hídrico ocurren después de seis años (el año 2020); es decir, se observa la recuperación de la disponibilidad hídrica en algunos municipios y también el nivel más bajo de estrés hídrico en otros.

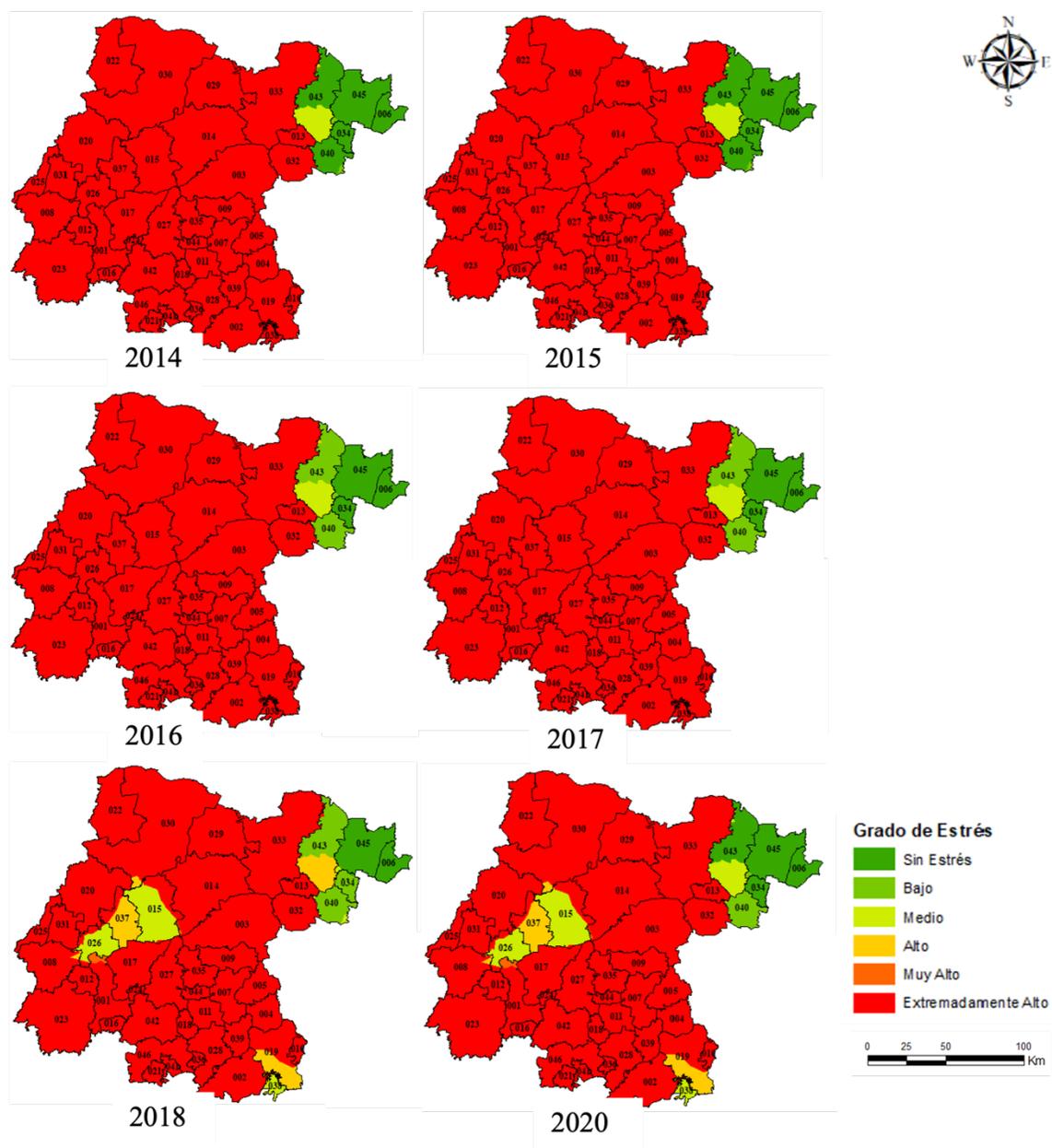


Figura 6. Grado de estrés hídrico en el estado de Guanajuato al tecnificar el riego por goteo con una eficiencia del 95%.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, implementar el riego tecnificado por goteo en cualquier parte del planeta siempre se verá reflejado en números. Principalmente, la volatilidad de los precios de los materiales hace un poco más difícil el hacer que los agricultores cambien o tecnifiquen sus cultivos. A pesar de ello, los indicios que muestran los resultados hacen del riego tecnificado por goteo una medida de mitigación a considerar de cara a una mejor gestión del recurso hídrico en el estado.

Conclusiones

El uso del índice de escasez hídrica ha permitido evaluar el grado de estrés hídrico al que están sometidos los municipios del estado de Guanajuato ante las condiciones actuales de demanda asociados a los diferentes usos consuntivos y la disponibilidad hídrica de las fuentes superficiales y subterráneas. Con base en los resultados obtenidos, el 86% de los municipios del estado presentan un grado de estrés hídrico medio, alto, muy alto y extremadamente alto. Los municipios de Victoria, Xichú, Atarjea, Santa Catarina y Tierra Blanca presentaron un grado bajo y sin estrés hídrico. Lo anterior fue influenciado por la disponibilidad de los acuíferos de Xichú-Atarjea y Ocampo que no presentan déficit hídrico, así como por la baja demanda de los usos consuntivos agrícola, público-urbano e industrial. Finalmente, el escenario de mitigación propuesto para las condiciones del estado de Guanajuato ha permitido observar que, aunque se realice un riego tecnificado por goteo del 100% y con una eficiencia del 95% en las áreas agrícolas, la recuperación de la disponibilidad hídrica se vería reflejada solo en los municipios de Guanajuato, Silao, Romita, Comonfort y Tarandacua, después de los seis años de implementada la tecnificación del riego.

Agradecimientos

A la Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado (DAIP) de la Universidad de Guanajuato por el financiamiento asignado al Proyecto 139/2021 dentro de la Convocatoria Institucional de Investigación Científica 2021.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

- Austria, P. F. (2019). Índice de escasez: ¿un indicador de disponibilidad o una herramienta para la gestión del agua? *Entorno UDLAP*, 9, 18-23. <https://www.researchgate.net/publication/335612540/>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2022). *Estadísticas del agua en México 2021*. Conagua. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/PDF/EAM_2021.pdf
- Coordinación Estatal de Protección Civil de Guanajuato (CEPCG). (2018). *Programa estatal de protección civil (Plan de contingencia) para la atención del fenómeno hidrometeorológico para la temporada de lluvias y ciclones tropicales 2018*. https://servicios-ssp.guanajuato.gob.mx/atlas/hm/documentos/planes%20y%20programas/Plan%20lluvias%202018/01.-%2031052018_2aSO2018_Plan%20Lluvias.pdf
- Distefano, T., & Kelly, S. (2017). Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth. *Ecological Economics*, 142, 130-147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.019>
- Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, 89, 193-219. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-03482014000200008&sc>
- Hernández-Romero, P., Patiño-Gómez, C., Corona-Vásquez, B., & Martínez-
- Smakhtin, V., Revenga, C., & Döll, P. (2004). *Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments*. Comprehensive Assessment Secretariat.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Division municipal*. https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gto/territorio/div_municipal.aspx?t

- Nava, L. F., Torres, L., & Orozco, I. (2024). Crisis water management in Mexico. En R. Brears (ed.), *The palgrave encyclopedia of sustainable resources and ecosystem resilience* (pp. 1-21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67776-3_56-1
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. FAO. <https://www.fao.org/4/i3015s/i3015s.pdf>
- Padilla, E. (2012). La construcción social de la escasez de agua. Una perspectiva teórica anclada en la construcción territorial. *Región y Sociedad*, 24(3), 1-8. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-39252012000600004&script=sci_arttext
- Pacheco-Treviño, S., & Manzano-Camarillo, M. G. F. (2024). Review of water scarcity assessments: highlights of Mexico's water situation. *WIRES*, 11(4), 1-16. <https://doi.org/10.1002/wat2.1721>
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT). (2010). *Diagnóstico climatológico y prospectiva sobre vulnerabilidad al cambio climático en el estado de Guanajuato (2010)*. <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/cambio-climatico/185/Publicaciones-sobre-cambio-climatico>
- Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR). (2020). *Mi riego productivo ejercicio 2020 evaluación de impactos de la tecnificación del riego en Guanajuato*. https://sdayr.guanajuato.gob.mx/contenido/adjuntos/evaluaciones/2020/Evaluacion_de_la_Tecnificacion_del_Riego_en_el_Estado_de_Guanajuato.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMOAT). (2021). *El estado de Guanajuato frente al cambio climático* [Infografía]. <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/cambio-climatico/img/adaptacioninfografia.png>
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related Environmental Resources. *Fisheries*, 1(4), 6-10. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2)
- Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2020). Water supply and water scarcity. *Water*, 12(9), 1-15. <https://doi.org/10.3390/w12092347>
- Veldkamp, T. I. E., Wada, Y., Moel, H., Kumm, M., Eisner, S., Jeroen C. J. H., & Ward, P. J. (2015). Changing mechanism of global water scarcity events: Impacts of socioeconomic changes and inter-annual hydro-climatic variability. *Global Environmental Change*, 32, 18-29. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.011>
- Vörösmarty, C. J., Douglas, E. M., Green, P. A., & Revenga, C. (2005). Geospatial indicators of emerging water stress: an application to Africa. *AMBIO*, 34(3), 230-236. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.3.230>
- Wada, Y., van Beek, L. P. H., Viviroli, D., Dürr, H. H., Weingartner, R., & Bierkens M. F. P. (2011). Global monthly water stress: 2. Water demand and severity of water stress. *Water Resources Research*, 47(7), 1-17. <https://doi.org/10.1029/2010WR009792>