

Adaptación y aplicación de metodologías para un análisis de la seguridad hídrica urbana en la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe

Adaptation and application of methodologies for an urban water security analysis in the Zacatecas-Guadalupe metropolitan area

Claudia Zelmira Jiménez Aguilar

Carlos Contreras Servín

Felipe de Jesús Escalona Alcázar

Correspondencia:

claujiag@gmail.com

Estudiante del Doctorado en

Geografía y Orientación

Territorial, Universidad de

Guadalajara, México.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0140-6414>

coser@uaslp.mx

Profesor-Investigador. CIACyT.

Universidad Autónoma de San

Luis Potosí, México

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2221-1565>

fescalona@uaz.edu.mx

Profesor-Investigador. UACT.

Universidad Autónoma de

Zacatecas, México

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5759-1927>

Resumen

La Seguridad Hídrica Urbana surge como una propuesta para las problemáticas hídricas del siglo XXI. Sin embargo, las políticas públicas hídricas y la gestión del agua en México, enfocadas en dicha visión, resultan escasas en la actualidad. En el desarrollo de esta investigación se recurrió a la búsqueda y adaptación de metodologías de Seguridad Hídrica Urbana, aplicables a la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe y, con ello, realizar un análisis del estado de la Seguridad Hídrica Urbana del área de estudio. Las metodologías de Brown, Keath y Wong (2009), Daniell et al. (2015) y Salvatore-Olivares et al. (2019) fueron las seleccionadas, puesto que mediante su adaptación y aplicación al sitio de estudio permitieron englobar en un sistema conformado a su vez por cinco subsistemas y tres dimensiones, estableciendo interconexiones entre seis descriptores (rezago social, disponibilidad y acceso al agua, calidad de los servicios de agua, capacidad y volumen de tratamiento de aguas residuales, riesgos hidrometeorológicos, y conflictos por el agua) que reunieran de manera holística los rubros positivos o negativos que repercuten en el estatus de Seguridad Hídrica Urbana del área de estudio. Los resultados permiten identificar que las condiciones políticas, sociales y económicas no han tenido el alcance esperado de una Seguridad Hídrica Urbana, debido a que la solución a las problemáticas de disponibilidad y abastecimiento de agua, contaminación de cuerpos de agua, asentamientos irregulares, acceso a servicios y pobreza se consideran insuficientes.

Palabras clave: abastecimiento de agua, crisis del agua, gestión del agua.

DOI: <https://doi.org/10.63042/8m-jkbh65>

Fecha de recepción:

5-febrero-2024

Fecha de aceptación:

13-febrero-2025

Derechos de autor 2025 Los autores conservan el copyright de sus artículos publicados en Regiones y Desarrollo Sustentable, los cuales se distribuyen bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Esto permite su uso, distribución y adaptación siempre que se otorgue el crédito correspondiente al autor original y se indique que el artículo fue publicado por primera vez en Regiones y Desarrollo Sustentable. Nuestra política cumple con los estándares del Directorio de Revistas de Acceso Abierto (DOAJ), promoviendo el acceso abierto y derechos de uso claros.

Abstract

Urban water security emerges as a proposal for water issues of the 21st century. However, public water policies and water management in Mexico focused on this vision are currently scarce. In the development of this research, the search and adaptation of urban water security methodologies applicable to the Zacatecas-Guadalupe Metropolitan Area were used and, with this, an analysis of the state of urban water security of said site was carried out. The methodologies of Brown et al. (2009), Daniell et al. (2015) and Salvatore-Olivares et al. (2019) were selected for this work since, through their adaptation and application to the study site, they allowed to conform a system made up of five subsystems and three dimensions, establishing interconnections between six descriptors (social backwardness, availability and access to water, quality of water services, capacity and volume of wastewater treatment, hydrometeorological risks and conflicts over water) that holistically bring together the positive or negative items that impact the urban water security status of the study area. The results allowed us to identify that the political, social, and economic conditions have not allowed the achievement of urban water security because the solution to the problems of availability and supply of water, contamination of bodies of water, irregular settlements, access to services and poverty are considered insufficient.

Key words: Water supply, water crisis, water management.

Introducción

Históricamente, los asentamientos humanos se han establecido en sitios con presencia de agua, recurso esencial para el desarrollo de las ciudades. Las áreas urbanas se caracterizan por ser sitios con alta influencia de interacciones entre actividades antropogénicas y los sistemas naturales (Yang et al., 2016), por lo que tales interacciones pueden ejercer presión sobre los recursos naturales e incrementar los riesgos.

La crisis del agua en la actualidad se categoriza como uno de los riesgos y grandes retos a nivel mundial. De acuerdo con el *Global Risks Report* (World Economic Forum, 2021), la escasez de agua afecta al 40% de la población total (Naciones Unidas, 2019). La situación de disponibilidad de agua se agrava cuando conocemos que cerca del 56% de los 7.8 mil millones de habitantes en el planeta, se encontraban asentados en urbes, porcentaje que de acuerdo con proyecciones a 2050 incrementará a 68% (UN Habitat, 2022).

A nivel nacional, México se considera desde hace unas décadas como un país predominantemente urbano. A partir de 1960, la población que residía en áreas urbanas representaba el 51% del total poblacional y, en la actualidad, el 79% habita en estas zonas (INEGI, 2021). Para 2050, se estima que el 86.4% de la población mexicana habite en áreas urbanas (Martínez-Austria, Díaz-Delgado y Moeller-Chávez, 2019). González-Arellano y Larralde-Corona (2019) afirman que el desarrollo urbano del país surgió en 1960 a partir del proceso de cambio de una economía agrícola hacia una industrial. La urbanización e industrialización del país implicó un cambio territorial que ejercería presión sobre los recursos naturales.

La situación hídrica actual en México indica que, del total de 653 acuíferos en el país, 111 están catalogados como sobreexplotados de acuerdo con el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2021). La condición de los cuerpos de agua subterráneos es más severa en la zona norte del país, debido a condiciones climáticas de mayor aridez y menor precipitación, factor que permite la recarga de los acuíferos y, por ende, parte de la disponibilidad de agua.

Asimismo, en México, el 75.7% del volumen concesionado de agua es de uso agrícola, 14.7% para abastecimiento público, 4.9% de uso industrial y 4.7% para electricidad (SINA, 2021). El porcentaje de uso para abastecimiento público es destinado a los asentamientos humanos, en su mayoría, ciudades. De acuerdo con la Encuesta Nacional de los Hogares

2017 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2018), el 73.35% de los encuestados disponían de agua dentro de su hogar y solamente un 73.61% de estos recibían agua diariamente. Estos datos se contraponen a la información que presenta la misma encuesta con relación a la cobertura de servicios de alcantarillado y drenaje, donde un 95.2% tienen servicios de alcantarillado y un 93.82% de drenaje (Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica [SNIEG], 2020).

Dado que la problemática de agua no es ajena a escalas menores en el país, el estado de Zacatecas, caracterizado por su clima predominantemente seco y por su desarrollo histórico de alta dependencia al agua por las actividades económicas del estado como la minería, el recurso agua se encuentra en situación de déficit (Rivera, 2011). La prevalencia de desabasto de agua, así como de otras afectaciones ambientales, continuaron agravándose con las transformaciones sociales y económicas del territorio zacatecano. El factor de incremento poblacional, expansión urbana e ineficiencia de la gestión y políticas públicas hídricas, estatales y locales se perciben en la situación de crisis hídrica presente en la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe.

Durante varios años, la visión de Gestión Integral de Recursos Hídricos que predomina en las políticas hídricas a nivel nacional, estatal y local, no ha resultado factible para una óptima gestión del agua; por ello, la situación de crisis del agua continúa sin solución. Es así como la visión y metodologías de Seguridad Hídrica Urbana resultan atractivas de adaptar y aplicar en el sitio de estudio de la investigación, bajo tres objetivos: el primero, analizar el panorama general de Seguridad Hídrica Urbana a nivel nacional, estatal y de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe mediante sus antecedentes y situación actual; segundo, identificar la existencia de metodologías que constituyen la visión de Seguridad Hídrica Urbana a escala internacional, nacional y estatal; finalmente, analizar el estatus de Seguridad Hídrica Urbana de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe mediante la adaptación y aplicación de metodologías.

Marco conceptual

Seguridad Hídrica

La visión de Seguridad Hídrica a nivel internacional surgió con la entrada del nuevo milenio en el Segundo Foro Mundial de la *Global Water Partnership*, y reemplazó a su predecesora, la Gestión Integral de Recursos Hídricos. La noción de Seguridad Hídrica surge a partir de nuevas ideas que consideran que para la gestión adecuada de los recursos hídricos es necesario la solución a la par de otras problemáticas como la pobreza, riesgos ambientales y desigualdad económica, puesto que se encuentran interconectadas entre sí (Grey y Sadoff, 2007).

El concepto de Seguridad Hídrica no tiene una definición única y se considera como dinámico, puesto que se construye a partir de los objetivos, los riesgos ambientales, los enfoques, la escala y sitio de aplicación. Sin embargo, existen definiciones generalizadas que son más utilizadas. En esta investigación, se toma como referencia la visión de Seguridad Hídrica dada por la UN Water (2013), que precisa que es:

...la capacidad de una población a salvaguardar el acceso sostenible y cantidades adecuadas de calidad de agua para el sustento de medios de vida, bienestar humano y desarrollo socioeconómico para garantizar la protección contra la contaminación y desastres relacionados con el agua, así como la preservación de ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política. (p. 1)

Esta definición reconoce que la Seguridad Hídrica abarca enfoques como el de asegurar la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos que proporcionen servicios de manera sostenible con el ambiente; la mitigación de riesgos relacionados con el agua; y el planteamiento de soluciones a conflictos y situaciones de estrés hídrico. De la misma manera, la UN Water (2013) establece que el acceso a agua potable, el fomento de la protección y preservación de los ecosistemas hídricos, el tratamiento de las aguas residuales, la gobernanza, la participación institucional, y la infraestructura hidráulica son requerimientos base para un análisis de Seguridad Hídrica.

A partir de la conceptualización de lo que es Seguridad Hídrica, surgen metodologías para su análisis. Dichas metodologías se dividen principalmente en rigurosas y dinámicas. Entre las rigurosas se encuentran aquellas que desarrollan un objetivo y enfoque principal

a gran escala con apoyo de datos e indicadores. Dentro de estas existen las elaboradas por Mason y Calow (2012) y la Global Water Partnership (2014).

Mason y Calow (2012) plantean que la Seguridad Hídrica está estrechamente relacionada con la escasez y el riesgo, los cuales actúan como marcos de competencia para la elaboración de una métrica basada en indicadores establecidos dentro de cinco rubros clave (capacidad de acceso y gestión del agua; variabilidad y riesgo; agua con enfoque humano; necesidades ambientales; y competencia y conflictos), la cual es aplicada a escala nacional. En cambio, la metodología de la Global Water Partnership (2014) se adecúa a países asiáticos y toma en cuenta cinco dimensiones clave por medio de indicadores: doméstica, económica, urbana, ambiental, y desastres naturales relacionados con el agua.

En cambio, las metodologías dinámicas permiten el estudio de Seguridad Hídrica mediante el reconocimiento de que el agua y la sociedad son agentes dinámicos y que, a su vez, forman parte del mismo sistema. La metodología de Srinivasan, Konar y Sivapalan (2017) considera que lo esencial para un análisis de Seguridad Hídrica es la comprensión de los usos del agua que hace la sociedad y, por lo tanto, las repercusiones que se tendrán en la disponibilidad del recurso y de inseguridad hídrica. De esta manera, la metodología se basa en tres componentes esenciales: fuentes de uso de agua, consumo-demanda y desarrollo humano.

Seguridad Hídrica Urbana

La alta densidad poblacional y la dependencia a recursos naturales externos, son parte de las características particulares de las áreas urbanas (Hoekstra, Buurman y Ginkel, 2018). Del total de la población mundial en 2018: el 55% era población urbana (UN, 2019) con estimaciones en aumento de hasta 68% para 2050 (UN Habitat, 2022). Dado que la urbanización consiste en un proceso de transformación que implica cambios sociales, económicos y territoriales, con la finalidad de progreso y desarrollo económico (Hussain e Imitiyaz, 2018), la población de áreas rurales tiende a migrar a las urbes con la esperanza de mejorar su acceso a oportunidades, servicios y calidad de vida.

Por consiguiente, las características particulares de la relación humano-naturaleza y la complejidad entre sus interacciones hacen que el concepto de Seguridad Hídrica difiera en parte del de Seguridad Hídrica Urbana. De acuerdo con Aboelnga et al. (2019), la Seguridad Hídrica Urbana se define como:

...la capacidad dinámica del sistema hídrico agua y los actores del agua para salvaguardar el acceso sostenible y equitativo a cantidades adecuadas de calidad de agua y que se encuentre continuamente disponible física y legalmente para satisfacer la demanda de agua a un costo asequible; con el fin de sostener los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política. (p. 14)

Entre las metodologías para análisis de Seguridad Hídrica Urbana se encuentra la propuesta de Brown, Keath y Wong (2009), los cuales implementaron un sistema multidimensional que surge de una investigación del proceso hacia una gestión sostenible del agua. El “Sistema Urbano-Rural y Adaptativo” se conforma de seis fases transicionales, un objetivo principal y presenta dos estados durante el desarrollo de esta transición: los objetivos sociopolíticos acumulativos y la función de provisión de servicios como respuestas a los cambios del propio sistema. Los investigadores llegaron a la conclusión de que la sistematización resulta clave para el conocimiento de la gestión sostenible del agua y que las dificultades que se pueden presentar en este proceso recaen principalmente en las diferencias institucionales y sociopolíticas de las ciudades.

Daniell et al. (2015) retomaron la propuesta de Brown, Keath y Wong (2009) para concluir que el sistema se encuentra guiado por tres conductores multidisciplinarios principales: ambiental, socioeconómico y de gobernanza; además, durante la transición de adaptación del sistema, este tendrá la capacidad de estabilizarse o limitarse según los aciertos o fallas en las interacciones.

Seguridad Hídrica y Seguridad Hídrica Urbana en México

...aquella condición que asegura el abastecimiento sustentable del agua para todos los usos, en condiciones de equidad y a precios asequibles, para promover la salud, el desarrollo económico, la producción de alimentos y energía y, la conservación del medio ambiente... Protege, con un riesgo aceptable, a la población y a los sistemas productivos contra los efectos de eventos hidrometeorológicos extremos; mitiga sus

efectos e, incluye medidas de adaptación frente a los efectos del cambio climático. (Martínez-Austria (2013), p. 166)

Por otra parte, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (SEMARNAT-IMTA, 2017), construyeron el Índice de Seguridad Hídrica Municipal y el Índice Global de Seguridad Hídrica Estatal, que enfoca sus objetivos en los servicios de agua potable y los riesgos por fenómenos meteorológicos, ambos basados en las metodologías del Índice Global de Seguridad Hídrica elaborado por Gain, Giupponi y Wada (2016).

El trabajo de Salvatore-Olivares et al. (2019) consiste en un estudio de valoración de Seguridad Hídrica en dos cuencas de México, por medio de un análisis de descriptores relacionados con amenazas hídricas, riesgo hídrico, y agua para uso doméstico y productivo. La integración y estudio de los descriptores en lugar de indicadores en su totalidad, debido a la variación de información y falta de datos del agua en el país, permitió a los investigadores realizar una valoración de Seguridad Hídrica tanto cualitativa como cuantitativa.

Sin embargo, a pesar de que la Seguridad Hídrica tiene presencia por más de 20 años en el ámbito internacional, países como México continúan con un modelo de Gestión Integrada de Recursos Hídricos que, además de no ser sostenible por no brindar los resultados esperados ante la problemática del agua, ha imposibilitado la entrada y desarrollo de las visiones de Seguridad Hídrica y Seguridad Hídrica Urbana en las políticas y gestión de recursos hídricos.

Antecedentes y sitio de estudio

El estado de Zacatecas se encuentra en la región centro-norte de México. Representa el 3.8% de la superficie total del país y está conformado por 58 municipios y un área metropolitana. Se caracteriza ambientalmente por una predominante condición climática seca con lluvias en invierno en la parte centro-norte, y en el suroeste de clima templado subhúmedo con lluvias de verano (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2019), temperatura media anual de 16 °C (CONABIO, 2020) y una precipitación pluvial normal media de 496.4 mm (CONAGUA, 2020).

El origen de Zacatecas se encuentra en la actividad minera. La capital del estado se edificó en el siglo XVI entre cerros con yacimientos mineros y cerca de fuentes de agua,

que permitieran el desarrollo de esta actividad económica. A finales del siglo XVIII, la ciudad contaba con sistemas de almacenamiento de agua y un sistema de acueductos debido al desabasto del recurso (Rivera, 2011). La prevalencia de la problemática hídrica, así como de otras afectaciones ambientales en el estado, continuaron agravándose con las transformaciones sociales y económicas del territorio.

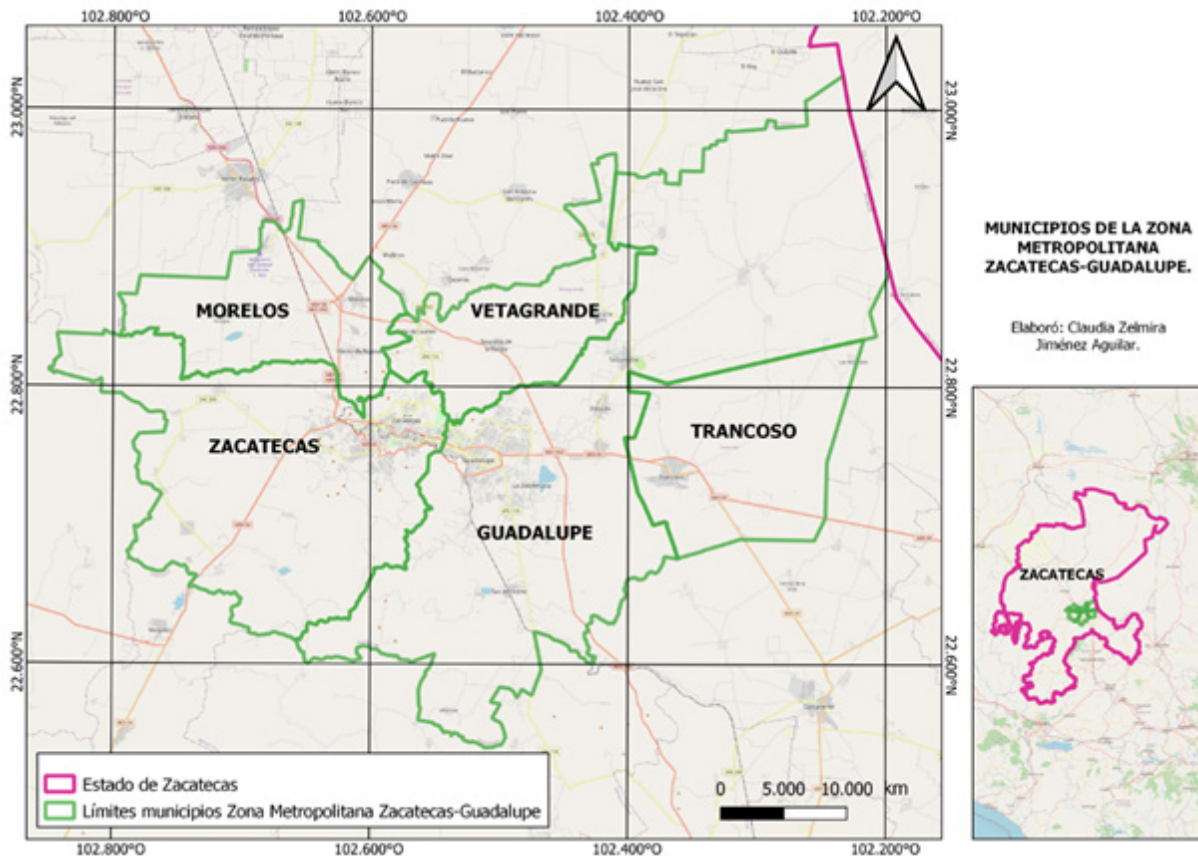
La población del estado en 1990 era predominantemente rural, donde el 54.06% de los 1,273,323 habitantes vivían en estas áreas; en 2020, la población incrementó a 1,622,138 de zacatecanos, registrando que el 63.62% habitaba en áreas urbanas (INEGI, 2021). Este fenómeno indica una transición demográfica en Zacatecas en el que se implica la migración dentro y fuera del estado, el nivel de bienestar social, la estructura por edad de la población, la dinámica demográfica y distribución territorial (Padilla y Torres-Ramírez, 2012).

Tal como menciona Rivera (2011), la entrada de la actividad agrícola y, después, la industrial en la segunda parte del siglo XX en el estado, conformaron la ruptura metabólica de la relación histórica sociedad-ambiente, cuyas consecuencias se observan más allá de problemática ambiental. El territorio zacatecano en el transcurso de diez años pasó de contar con once acuíferos sin disponibilidad (CONAGUA, 2013), a 20 acuíferos en dicha categoría (CONAGUA, 2023), representando un 58.8% del total de cuerpos de agua subterráneos (34) en cifras de déficit.

La Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe (ver Figura 1) es la principal área del estado y donde se concentran las actividades económicas y de servicios, así como la población urbana. Se conforma por cinco municipios (Zacatecas, Guadalupe, Morelos, Vetagrande y Trancoso) con una población total registrada a 2020 de 405,285 habitantes dentro de 1,820.2 km² (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2018; INEGI, 2021). El municipio de Guadalupe presenta el mayor un incremento poblacional de la zona, con un crecimiento de 103,674 habitantes en un periodo de 20 años (2000 a 2020). Asimismo, se proyecta que la población continúe incrementando, situación que implicaría atención por parte de las instituciones gubernamentales a las problemáticas hídricas que se susciten.

Figura 1

Ubicación y municipios que conforman la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe



Fuente: elaboración propia, con base en CONABIO (2019).

Los cinco acuíferos (Chupaderos, Guadalupe-Bañuelos, Benito Juárez, Calera y Ojocaliente) que abastecen de agua al área metropolitana se encuentran clasificados como sobreexplotados, presentan un nivel de recarga menor al de extracción anual (CONAGUA, 2018). Una de las causas de la sobreexplotación de los acuíferos es la política de gestión de agua que fomenta la exploración y explotación de pozos y el desarrollo de obras de infraestructura hidráulica (Tetreault y McCulligh, 2012). Los acuíferos de Guadalupe-Bañuelos y Benito Juárez suministran hasta un 70% de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe, siendo el primer acuífero el que se aprovecha más para uso público y urbano, con 9 hm³ anuales (Tetreault, 2019).

El agua aprovechada del área se destina también para uso industrial. Una de las principales actividades económicas de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe es la

minería, actividad en la que sus procesos requieren grandes cantidades de recurso y que, a su vez, puede emitir contaminantes a los cuerpos de agua. Los efectos de los antecedentes históricos de la actividad minera en el sitio de estudio prevalecen y se intensifican en la actualidad. Los acuíferos de Benito Juárez y Guadalupe-Bañuelos registran presencia de contaminación por metales pesados como arsénico y halógenos que sobrepasan los límites máximos permisibles en la NOM-250-SSA1-2014 (Tetreault, 2019).

Metodología

Para el desarrollo del análisis de Seguridad Hídrica Urbana de la presente investigación, se adaptaron las metodologías de Brown, Keath y Wong (2009), Daniell et al. (2015) y Salvatore-Olivares et al. (2019) en un sistema holístico, con el objetivo de analizar la situación de Seguridad Hídrica Urbana en la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe puesto que, a la fecha, no existe una metodología elaborada por una institución gubernamental o académica para la evaluación de Seguridad Hídrica o Seguridad Hídrica Urbana del sitio de estudio, o de Zacatecas. Rivera y Aguilar (2015) desarrollaron un análisis aplicado a los municipios de Zacatecas y Guadalupe basado en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, visión predecesora a de Seguridad Hídrica.

La construcción y análisis del sistema de Seguridad Hídrica Urbana de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe se da a partir de la investigación de elementos que se involucran en la dimensión ambiental, socioeconómica y de gobernanza del área de estudio y de establecer las interacciones e interconexiones de los elementos en los subsistemas que forman parte del sistema general de Brown, Keath y Wong (2009) y Daniell et al. (2015).

La primera etapa de investigación consistió en la obtención y recopilación de información y datos de agua adecuados para establecerse como conductores principales de la dimensión ambiental, socioeconómica o de gobernanza, del sistema hídrico urbano de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe. Se consideró que estos datos permitieran visualizar la situación de problemática hídrica del área de estudio. Para tal recopilación, se tomó como base metodológica el trabajo de Salvatore-Olivares et al. (2019), debido a la insuficiencia de indicadores para realizar un análisis de este tipo. Por lo tanto, se fomentó el uso de datos cuantitativos y cualitativos que permitan construir y denotar las interacciones e interconexiones del sistema de seguridad hídrica urbana.

Mediante la búsqueda en bases de datos de CONAGUA, INEGI, CONEVAL, REPDA, IZAI, SNIEG, JIAPAZ, y otras instituciones estatales y locales, material hemerográfico e investigaciones en materia publicadas en artículos y libros; se integró una base de información de cada uno de los elementos del sistema de Seguridad Hídrica Urbana de los cinco municipios que conforman la zona metropolitana.

La segunda parte consistió en la integración de la información y datos obtenidos durante la primera etapa para la adaptación y aplicación de las metodologías de Seguridad Hídrica Urbana para la construcción del sistema hídrico urbano de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe y, posteriormente, llevar a cabo el análisis de la situación hídrica acorde a lo observado en el sistema. Finalmente, los resultados encontrados permitieron la evaluación de la gestión y políticas públicas hídricas, así como las repercusiones positivas o negativas en la Seguridad Hídrica Urbana del área de estudio.

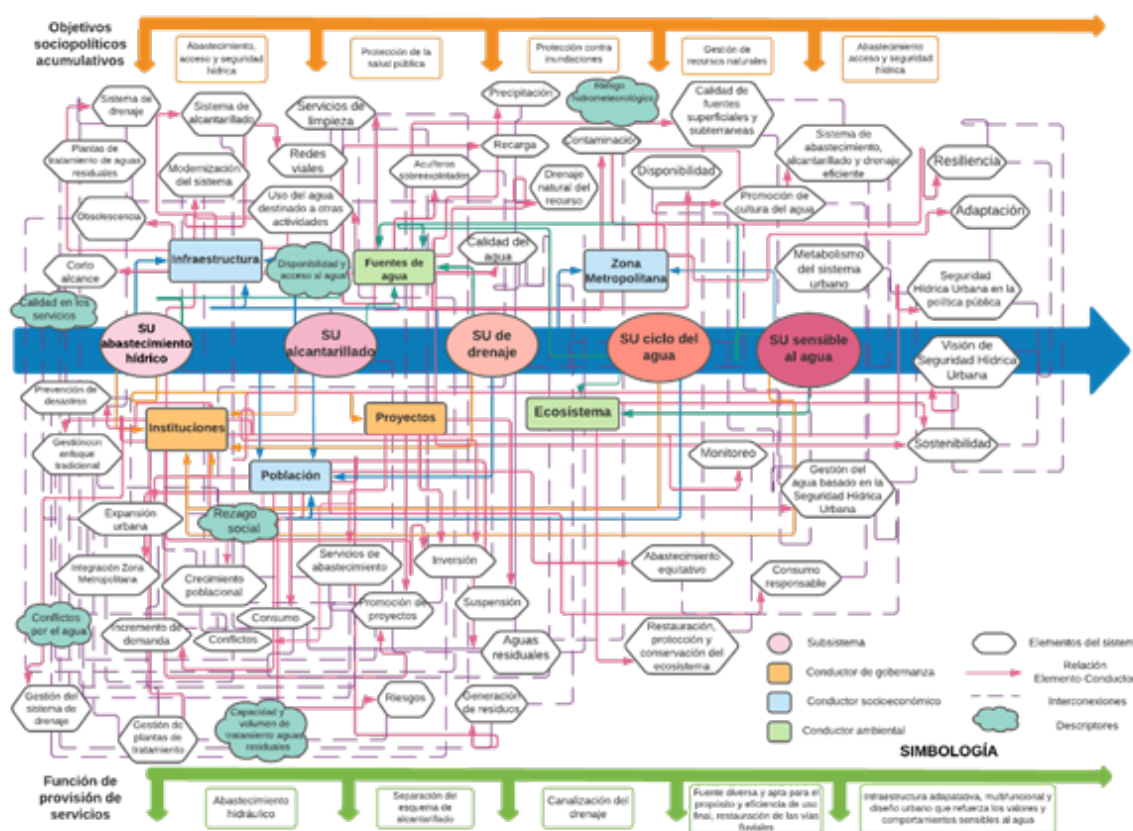
Durante esta segunda etapa, el sistema propuesto por las metodologías de los autores presentó modificaciones acordes a las particularidades y características particulares del sitio de estudio. El sistema construido tuvo como base cuatro componentes (elementos, conductores principales, fases transicionales y objetivos) que permitieron visualizar el comportamiento de cada uno de los cinco subsistemas (abastecimiento hídrico, alcantarillado, drenaje, ciclo del agua y sensible al agua) en transición que conforman el sistema integrado multidimensional de Seguridad Hídrica Urbana final.

Resultados

El primer resultado de la adaptación y aplicación de las tres metodologías resultó en la construcción del Sistema de Seguridad Hídrica Urbana de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe con los datos e información recopilados (ver Figura 2).

Figura 2

Sistema de Seguridad Hídrica Urbana de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe



Fuente: elaboración propia, con base en Brown, Keath y Wong (2009), Daniell et al. (2015) y Salvatore-Olivares et al. (2019).

En el sistema de Seguridad Hídrica Urbana de la Figura 2, la elección de conductores y elementos de cada uno de los subsistemas permite la relación entre estos o formar varias interconexiones en más de un subsistema. Por lo tanto, un mismo conductor o elemento pueden ser encontrados en uno o más subsistemas, puesto que forman parte de un sistema

holístico. De acuerdo con el sistema elaborado, la sociedad es el actor esencial que forma parte de los conductores socioeconómico, ambiental y de gobernanza y, por ende, el principal afectado por problemáticas de índole hídrico.

Dentro del sistema, la sociedad y las instituciones son el elemento y el conductor, respectivamente, que presentan las mayores relaciones e interconexiones. En las instituciones, como conductores de gobernanza, recaen los objetivos sociopolíticos acumulativos de abastecimiento, acceso y seguridad hídrica. Así, la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ) funge como el conductor principal de gobernanza y se presenta en cada uno de los subsistemas, funcionando, a su vez, como conector de las relaciones entre los conductores y los elementos del sistema. Dentro del sistema de Seguridad Hídrica Urbana, se observaron afectaciones y problemáticas por la incertidumbre ante la gestión y políticas públicas hídricas. Los conflictos entre el sector agua y la sociedad por las problemáticas hídricas ya existen y continuarán.

La situación de Seguridad Hídrica Urbana de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe finalmente fue analizada por los resultados obtenidos de los seis descriptores del sistema: rezago social, disponibilidad y acceso al agua, calidad de los servicios de agua, capacidad y tratamiento de aguas residuales, riesgos hidrometeorológicos y conflictos por el agua.

Descriptor de rezago social

El descriptor de rezago social mostró que las condiciones de desigualdad en la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe tienen influencia en la capacidad de desarrollo económico y social de la población y, por ende, el grado de acceso a servicios de agua. La población del municipio de Trancoso presentó la situación de pobreza más agravante de los cinco municipios, con porcentajes de pobreza de entre 60% y 80% (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [CONEVAL], 2021). De la misma manera, las AGEB analizadas de la periferia urbana de los municipios de Guadalupe y Zacatecas son las áreas urbanas de ambas ciudades con mayor grado de pobreza.

Las zonas de la periferia tienden a ser asentamientos nuevos o irregulares, por lo que algunos de los servicios de agua no les son proporcionados por parte de las instituciones del sector agua. Por ende, los habitantes de la periferia de los municipios que componen la zona metropolitana se consideran los más vulnerables en el plano de los conductores de gobernanza

y socioeconómico, los cuales afectan el nivel de Seguridad Hídrica Urbana y tienden a ser áreas que presentan conflictos por el agua.

Descriptor de disponibilidad y acceso al agua

Los resultados del descriptor de disponibilidad y acceso al agua mostraron que la JIAPAZ es la única institución encargada de gestionar el abastecimiento de agua potable y alcantarillado, así como otros servicios de agua. Sin embargo, la institución presenta problemáticas propias de su funcionamiento y gestión del agua. Uno de los principales problemas por los que atraviesa la JIAPAZ es la infraestructura obsoleta, la cual es más agravante en la zona centro de la capital del estado y afecta en la distribución y en la calidad del agua.

Uno de los aspectos esenciales que la JIAPAZ debe tomar en cuenta es el incremento de la demanda de agua por el incremento poblacional. Según información de la institución, el número de usuarios neto de cuatro de los cinco municipios de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe incrementó un 37.4% de 2008 a 2019 (Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas [JIAPAZ], 2019). El aumento en los usuarios significa un mayor volumen de extracción de agua; tan solo el municipio de Guadalupe presentaba un volumen de extracción diario de 21,249 m³ al día en 1995 y en 2017 el volumen incrementó a 65,201 m³/día, según datos del INEGI (1995; 2017).

En contraparte, también se observaron aspectos positivos en este descriptor. Para 2017, los cinco municipios de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe contaban con porcentajes de cobertura de servicios de agua entubada y drenaje mayores al 95% (INEGI, 2017). Asimismo, JIAPAZ cuenta con un sistema de monitoreo de abastecimiento de agua por día, horas y sectores del área metropolitana, al que pueden acceder en línea los ciudadanos y, a su vez, presentar quejas o denuncias del sistema de servicios.

Descriptor de calidad de los servicios de agua

En cuanto a este descriptor, JIAPAZ, por medio de las tomas domiciliarias, mantienen la regulación del servicio de abastecimiento de agua. En quince años (de 1995 a 2010), Guadalupe pasó de contar con 17,759 tomas a 45,747 tomas (INEGI, 1995; 2010). Además, la institución dota de 185 l/habitante/día de agua a una densidad de usuarios de 259.8 por km².

Sin embargo, el organismo presentó una mayor demanda de 1,108.14 lps a su oferta de 867.91 lps (JIAPAZ, 2019), afectando los servicios que ofrecen a la población.

En materia de contaminantes del agua presentes en el área de estudio, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) realiza anualmente estudios de calidad del agua superficial y subterránea. Tres de cuatro de los sitios de muestreo del municipio de Zacatecas presentaron valores por encima de los permitidos para Arsénico Total y Fluoruros Totales (CONAGUA, 2021a). Los análisis posteriores que realice la CONAGUA en los sitios de análisis permitirán visualizar si existe una mejora en la calidad de las aguas y, con esto, la eficiencia de los mecanismos de acción para hacer frente a esta problemática que afecta la Seguridad Hídrica Urbana.

Descriptor de capacidad y volumen de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son los elementos de mayor importancia para este descriptor. La primera planta de tratamiento construida en el área de estudio, “El Orito”, no consideró el nivel de expansión urbana que tiene actualmente la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe. La planta “Osiris”, del municipio de Guadalupe, cuenta con la mayor capacidad de las cinco plantas presentes en el área metropolitana, tratando 620.8 l/s y con un volumen de recepción de aguas residuales anuales de 15.85 millones de m³ (INEGI, 2017).

La JIAPAZ se encuentra a cargo de las plantas de tratamiento y como mecanismos de salida a las aguas tratadas, la institución cuenta con distintos tipos de convenios, contribuyendo a con la reutilización de agua, la disminución de volúmenes de extracción directa de fuentes de agua subterránea y, la entrada de ingresos financieros a la institución. Además de la venta de agua tratada, las plantas de tratamiento almacenan el agua y, con ella, se abastecen pipas de agua de uso en parques, jardines y servicios de limpieza; el resto es descargado a cuerpos de agua designados por la Ley Federal de Derechos.

Descriptor de riesgos hidrometeorológicos

Los fenómenos hidrometeorológicos tienen un impacto positivo o negativo en la relación agua-sociedad y, por ende, en el estatus de Seguridad Hídrica Urbana. El impacto de estos fenómenos representa cambios en la disponibilidad de agua del territorio. La precipitación

media en Zacatecas observa una variación que se caracteriza por la tendencia a la disminución de agua de lluvia. En 2020, la precipitación media fue de 406.3 mm; en 2010, de 509 mm; en el año 2000, de 492.7 mm; y, en 1990, de 745.9 mm (CONAGUA, 2021b).

Las condiciones de sequía son cada vez más presentes. Durante el 2021, se presentó una disminución de hasta el 30% de la precipitación media histórica nacional comparada con el año de 2020, momento en que Zacatecas se registró como uno de los estados más afectados (IMTA, 2021). En ese mismo año, se registraron ocho municipios con sequía severa, y los municipios de Zacatecas y Guadalupe se reconocieron como anormalmente secos (De Santiago, 2021).

Caso contrario, los eventos hidrometeorológicos de alto grado de precipitación han ocasionado afectaciones en las redes viales, puentes y zonas habitacionales. En 2021, la temporada de lluvias ocasionó que en varios hogares de Zacatecas y Guadalupe se presenciaran inundaciones de más de 15 cm, perjudicando calles y el interior de viviendas (Valle, 2021). Las consecuencias ocasionadas por estos fenómenos, en varios de los casos, podrían ser de menor gravedad si se fomentara la revisión de los permisos de establecimiento de asentamientos humanos, la revisión continua de la red de drenaje y alcantarillado, y el monitoreo y funcionamiento de las estaciones climatológicas.

De las nueve estaciones climatológicas y el observatorio meteorológico con las que cuenta la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe, solo cinco registran estadísticas históricas de precipitación. No obstante, los datos de precipitación no son constantes, y las estaciones no permiten un monitoreo eficiente de precipitación en el sitio de estudio.

Descriptor de conflictos por el agua

El origen de conflictos por el agua surge cuando se encuentra una falla en el funcionamiento óptimo del sistema hídrico urbano y repercute en alguno de los tres descriptores, así como en la población. Los conflictos que se observaron más recurrentes en el sitio de estudio son las demandas sociales por falta de servicios de agua en los hogares.

Durante el año 2020, se registraron conflictos relacionados con cuotas altas del servicio. Habitantes del área de estudio presentaron denuncias ante la Procuraduría Federal del Consumidor por el alza repentina en los recibos de pago (Llamas, 2020) y, a partir de las denuncias realizadas, en 2021 la Profeco retuvo cerca de 2,992 medidores por incumplimiento

a la NOM-012-SCFI-1994 (Valadez-Rodríguez, 2021). En 2021, habitantes de más de 30 colonias del municipio de Guadalupe se manifestaron ante la JIAPAZ debido a la falta de suministro de agua a las viviendas por varios días (Félix, 2021).

Uno de los conflictos de mayor escala que ha afectado a municipios fuera de la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe durante dos sexenios gubernamentales en Zacatecas es el proyecto de infraestructura hidráulica “Sistema Milpillas”, el cual, se encuentra en pausa indefinida a la fecha por las irregularidades presentadas en la propuesta de la obra. Habitantes de los ejidos del municipio de Jiménez del Teúl (donde se pretende construir la presa del “Sistema Milpillas”), se han opuesto a otorgar sus tierras al gobierno estatal por medio de amparos. Debido al alto movimiento social en contra del proyecto, la CONAGUA resolvió suspender la inversión destinada al “Sistema Milpillas.

Conclusiones

Durante el desarrollo de esta investigación, se observó que a pesar de que la visión de Seguridad Hídrica y Seguridad Hídrica Urbana resultan novedosas para el análisis y resolución de problemáticas relacionadas con la crisis del agua, resultan lejanas en su inclusión en la agenda ambiental, de gestión y en las políticas públicas de México, sobre todo cuando aún no se observan resultados de la visión hídrica que predomina en la actualidad en la legislación y políticas nacionales, estatales y locales. No obstante, la visión de Seguridad Hídrica y Seguridad Hídrica Urbana presentan indicios en investigaciones académicas y proyectos gubernamentales, consecuencia del interés por nuevos planteamientos de soluciones a la problemática hídrica.

En el estado de Zacatecas, y en la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe, se detectó la falta de integración de la visión de Seguridad Hídrica y Seguridad Hídrica Urbana en la gestión institucional y en las políticas hídricas, así como una ruptura en la gobernanza entre la relación sociedad-naturaleza. La necesidad de adaptar y aplicar metodologías de Seguridad Hídrica Urbana en el sitio de estudio demuestra que la problemática hídrica no es prioritaria para las instituciones gubernamentales.

La construcción del sistema de Seguridad Hídrica Urbana permitió observar la complejidad de las fases transicionales entre subsistemas y de las interrelaciones de los tres conductores con el recurso agua. Mediante la elaboración del sistema se detectaron aspectos

positivos y negativos para el alcance de las metas de Seguridad Hídrica Urbana mediante el análisis de sus descriptores. Sin embargo, de manera general, el alcance de Seguridad Hídrica Urbana en la Zona Metropolitana Zacatecas-Guadalupe es mínimo y no se considera como posible en un futuro a corto plazo. Los retos principales recaen principalmente en las instituciones gubernamentales, la gestión del agua y la aplicación de políticas hídricas basadas en Seguridad Hídrica Urbana.

Agradecimientos

Los autores queremos expresar nuestro agradecimiento al Dr. Gregorio Álvarez Fuentes y a la Dra. María Guadalupe Galindo Mendoza, por sus sugerencias y comentarios para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- Aboelnga, H. T., Ribbe, L., Frechen, F-B. y Saghir, J. (2019). Urban Water Security: Definition and Assessment Framework. *Resources*, 8(4), 178. <https://doi.org/10.3390/resources8040178>
- Brown, R., Keath, N. y Wong, T. (2009). Urban water management in cities: historical, current, and future regimes. *Water science and technology*, 59(5), 847-855. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2013). *Acuíferos del estado de Zacatecas: condición de las aguas subterráneas*. Jefatura de Proyecto de Aguas Subterráneas, Dirección Local Zacatecas, CONAGUA.
- _____. (2018). *Estadísticas del agua en México*. CONAGUA. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- _____. (2020). *Precipitación nacional*. CONAGUA. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=precipitacion&ver=mapa&o=3&n=nacional>
- _____. (2021a). *Indicadores de la calidad de agua subterránea 2012-2020*. CONAGUA. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/calidadAguaSub.php>
- _____. (2021b). *Precipitación promedio*. CONAGUA. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/precipitacion>

- _____ (2023). *Disponibilidad por acuíferos. Zacatecas*. CONAGUA. <https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/zacatecas/zacatecas.html>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2019). *Portal de geoinformación 2021. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. CONABIO. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- _____ (2020). *La biodiversidad en Zacatecas. Estudio de Estado*. CONABIO. <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios.html>
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) (2021). *Pobreza a nivel municipio 2010-2020*. CONEVAL. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipio-2010-2020.aspx>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México, 2015*. CONAPO. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>
- Daniell, K. A., Rinaudo, J. D., Chan, N., Nauges, C. y Grafton, Q. (2015). Understanding and Managing Urban Water in Transition. *Understanding and Managing Urban Water in Transition*. DOI:10.1007/978-94-017-9801-3_1
- De Santiago, R. (2021, julio 20). En sequía extrema, ocho municipios de Zacatecas. *Imagen Zacatecas*. <https://imagenzac.com.mx/capital/en-sequia-extrema-ocho-municipios/>
- Félix, A. (2021, marzo 27). Vecinos de 30 colonias “truenan” contra Jiapaz; desde hace 8 días no tienen agua. *La Jornada Zacatecas*. <https://ljz.mx/27/03/2021/vecinos-de-30-colonias-truenan-contra-jiapaz-desde-hace-8-dias-no-tienen-agua/>
- Gain, A. K., Giupponi, C. y Wada, Y. (2016). Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters*, 11(12), 124015. DOI: 10.1088/1748-9326/11/12/124015
- Global Water Partnership (2014). *Water Security: Putting the Concept into Practice*. Global Water Partnership. https://aquadoc.typepad.com/files/gwp_tec20_web.pdf
- González-Arellano, S. y Larralde-Corona, A. H. (2019). La forma urbana actual de las zonas metropolitanas en México: indicadores y dimensiones morfológicas. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 34(1), 11-42. <https://doi.org/10.24201/edu.v34i1.1799>
- Grey, D. y Sadoff, C. W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545-571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>

- Hockstra, A., Buurman, J. y Ginkel, K. (2018). Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*, 13. DOI: 10.1088/1748-9326/aaba52
- Hussain, M. e Imitiyaz, I. (2018). Urbanization concepts, dimensions, and factors. *International Journal of Recent Scientific Research*, 9(1), 23513-23523. DOI: 10.24327/IJRSR
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (2021). *Seguridad hídrica en tiempos de sequía*. IMTA. <https://www.gob.mx/imta/articulos/seguridad-hidrica-en-tiempos-de-sequia?idiom=es>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (1995). *Anuario Estadístico del Estado de Zacatecas. Edición 1995*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825154998>
- _____. (2010). *Anuario Estadístico del Estado de Zacatecas. Edición 2010*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825201395>
- _____. (2017). *Anuario Estadístico del Estado de Zacatecas. Edición 2017*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825092047>
- _____. (2018). *Encuesta Nacional de los Hogares, 2017*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/enh/2017/default.html#Tabulados>
- _____. (2021, marzo 16). *Censos y Conteos de Población y Vivienda*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>
- Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ) (2019). *Estudio de actualización tarifaria para servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Ejercicio Fiscal 2020*. JIAPAZ. <http://jiapaz.gob.mx/2018/wp-content/uploads/2019/10/ESTUDIO-TARIFARIO-JIAPAZ-2019.pdf>
- Llamas, S. (2020, marzo 06). Suman ya 50 quejas en Profeco en contra de la Jiapaz. *La Jornada Zacatecas*. <https://ljz.mx/06/03/2020/suman-ya-50-quejas-en-profeco-en-contra-de-la-jiapaz/>
- Martínez-Austria, P. F. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(5), 165-180. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3535/353531985011>
- Martínez-Austria, P., Díaz-Delgado, C. y Moeller-Chávez, G. (2019). Seguridad hídrica en México. *Ingeniería del agua*, 23(2), 107-121. <https://doi.org/10.4995/Ia.2019.10502>

- Mason, N. y Calow, R. (2012). *Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An initial overview of options*. Overseas Development Institute. <https://www.files.ethz.ch/isn/155568/7865.pdf>
- Naciones Unidas (2019). *Informe de los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2019*. Naciones Unidas. https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf
- Padilla, J. M. y Torres-Ramírez, M. (2012). La demografía zacatecana a comienzos del siglo XXI. *Migración y Desarrollo*, 10(19), 117-142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66025384004>
- Rivera, P. (2011). *La problemática ambiental en Zacatecas: Recuentos, avances y limitaciones*. El Colegio de la Frontera Norte.
- Rivera, P. y Aguilar, A. G. (2015). La gestión integral del agua en zonas urbanas: caso de estudio Zacatecas-Guadalupe, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 6(3), 125-142. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353541047009.pdf>
- Salvatore-Olivares, O., Burgos, A. L., Sosa-Ramírez, J. y Bocco, G. (2019). Valoración de la seguridad hídrica con enfoque de cuenca hidrográfica: Aplicación en cuencas rurales del Centro Occidente de México. *Journal of Latin American Geography*, 18(2), 88-119. <https://repository.lsu.edu/jlag/vol18/iss2/6/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (SEMARNAT-IMTA) (2017). *Índices de Seguridad Hídrica (ISH)*. SEMARNAT-IMTA. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1831>
- SINA (2021). *Estadísticas del agua en México 2021*. CONAGUA. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones=1>
- Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (SNIEG) (2020). *Catálogo Nacional de Indicadores*. SNIEG. <https://www.snieg.mx/cni/indicadores.aspx?idOrden=1.1>
- Srinivasan, V., Konar, M. y Sivapalan, M. (2017). A dynamic framework for water security. *Water Security*, 1, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.03.001>
- Tetreault, D. (2019). Agua en la Zona Conurbada de Zacatecas y Guadalupe. Una crisis sin conflicto. En D. Tetreault, C. McCulligh y C. Lucio (Coords.). *Despojo, conflictos socioambientales y alternativas en México* (pp. 247-279). Porrúa.

- Tetreault, D. y McCulligh, C. (2012). El camino suave del agua. Una alternativa para superar la crisis en la zona conurbada de Zacatecas y Guadalupe. *Observatorio del desarrollo*, 1(4), 33-37. <https://estudiosdeldesarrollo.mx/observatoriodeldesarrollo/wp-content/uploads/2019/05/OD4-7.pdf>
- UN (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- UN Habitat (2022) World Cities Report 2022. *Envisaging the Future of Cities*. UN Habitat. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
- UN Water (2013). *Water Security & the Global Water Agenda: A UN Water Analytical Brief*. UN Water. <https://collections.unu.edu/eserv/UNU:2651/Water-Security-and-the-Global-Water-Agenda.pdf>
- Valadez-Rodríguez, A. (2021, mayo 05). Inmoviliza Profeco casi 3 mil medidores de agua en Zacatecas. *La Jornada Zacatecas*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/04/05/estados/inmoviliza-profeco-casi-3-mil-medidores-de-agua-en-zacatecas/>
- Valle, L. (2021, agosto 18). Afectan las lluvias a colonos de Villas de Guadalupe. *NTR Zacatecas*. <http://ntrzacatecas.com/2021/08/18/vita-upe/>
- World Economic Forum (2021). *The Global Risks Report*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2021>
- Yang, W., Hyndman, D., Winkler, J., Viña, A., Deines, J., Lupi, F., Luo, L., Li, Y., Basso, B., Zheng, C., Ma, D., Li, S., Xiao, L., Zheng, H., Cao, G., Meng, Q., Ouyang, Z. y Liu, J. (2016). Urban water sustainability: Framework and application. *Ecology and Society*, 21(4), 4. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08685-210404>