

## 2. Crisis hídrica en México: la alarmante caída de los acuíferos y su impacto en el futuro del agua

ARTURO TORRES MENDOZA\*

YAMILE RANGEL MARTÍNEZ\*\*

ERÉNDIRA YARETNI MENDOZA MEZA\*\*\*

LUIS ALBERTO QUEZADA TÉLLEZ\*\*\*\*



<https://doi.org/10.52501/cc.364.02>

### Resumen

En México aproximadamente el 70 % del suministro de agua proviene de los acuíferos. Una gestión eficaz de estos recursos hídricos requiere una comprensión profunda de los patrones de flujo de agua subterránea, respaldada por datos extensivos. Este estudio utiliza la base de datos de la Comisión Nacional del Agua y de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para analizar la dinámica del agua subterránea y evaluar las implicaciones de su extracción. Los hallazgos indican que las mayores tasas de abatimiento del acuífero se concentran en el Valle de México, donde la perforación de pozos se implementó como solución temporal al problema de suministro de agua. Este cambio ha llevado a que el acuífero pase de una condición confinada a una libre en ciertas zonas, lo que ha contribuido a una significativa subsidencia de hasta 40 cm/año en algunas regiones. La situación resalta la necesidad de abordar el manejo sostenible de los acuíferos para garantizar el suministro de agua en el futuro.

---

\* Maestro en Ingeniería Industrial. Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2511-2182> ; correo electrónico: atorres@uaeh.edu.mx

\*\* Doctora en Ciencias Ambientales. Profesora de tiempo completo en Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8117-3218>

\*\*\* Doctora en Ciencias Sociales. Profesora por asignatura en Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4012-9231>

\*\*\*\* Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9262-9951>

**Palabras clave:** *batimiento del acuífero, subsistencia, agua confinada, agua libre.*

## Introducción

En México los acuíferos juegan un papel fundamental en el abastecimiento hídrico, proporcionan aproximadamente el 70 % del agua utilizada para consumo humano, así como actividades agrícolas e industriales; esta dependencia se ha intensificado debido al crecimiento poblacional y la urbanización, especialmente en regiones como el Valle de México (Hernández et al., 2019). Según la Conagua, para noviembre de 2023 se tenían 114 acuíferos clasificados como sobreexplotados de 653 acuíferos registrados, esto debido a la extracción intensiva, lo que ha resultado en la reducción de su capacidad de recarga y disponibilidad.

En consecuencia, la sobreexplotación de los acuíferos ha llevado a desafíos significativos como la subsidencia del terreno y la contaminación por actividades antropogénicas, que intensifican las desigualdades sociales. (Pastrana-Miranda y González-Caamal, 2022). El agotamiento de acuíferos y la subsidencia afectan directamente a comunidades vulnerables, limitando el acceso al agua potable y elevando los costos de reparación de infraestructura. Además, la expansión urbana en áreas de alto riesgo exacerba los problemas relacionados con el agua (Toscana y Villaseñor, 2021).

La práctica de extracción intensiva de agua subterránea no solo ha llevado a la degradación de recursos hídricos, también a la disminución de la capacidad de recarga natural; además, se observan cambios en la estructura de los acuíferos, de confinados a libres, lo que agrava la situación (Boyás et al., 2021).

La subsidencia, una consecuencia directa de la sobreexplotación, genera daños en infraestructuras y ecosistemas. En el Valle de México se han registrado tasas de hundimiento de hasta 40 cm/año, lo que impacta severamente las áreas urbanas y agrícolas (Martínez et al., 2019).

Para garantizar el suministro futuro es fundamental implementar estrategias de manejo integral que incluyan regulaciones estrictas, la promoción de la recarga artificial y una distribución equitativa del agua. Estudios

interdisciplinarios han destacado que los modelos de gestión deben adaptarse a las dinámicas geohidrológicas y sociopolíticas para evitar daños irreversibles (Hatch Kuri y Carrilo Rivera, 2021).

Algunas recomendaciones para una gestión sostenible incluyen la regulación de extracción, para implementar límites estrictos al bombeo, priorizando el uso doméstico y estratégico; la recarga artificial, que identifique y desarrolle zonas con alto potencial para la infiltración controlada de agua (Boyás et al., 2021); planeación urbana, que ponga énfasis en prohibir la urbanización en áreas susceptibles a hundimientos y promover desarrollos resilientes (Toscana y Villaseñor, 2021); y por último, aplicar reformas en políticas de agua, para adoptar estrategias integrales para mitigar la presión sobre los acuíferos y fomentar su sostenibilidad a largo plazo (Martínez et al., 2019).

La gestión hídrica requiere un enfoque holístico que combine regulación, innovación tecnológica y participación social. Abordar la sobreexplotación y la subsidencia no solo es crucial para garantizar el suministro de agua, sino también para proteger la infraestructura y mejorar la calidad de vida en comunidades afectadas.

Este estudio se centra en la sobreexplotación de los acuíferos en el Valle de México, el cual representa uno de los ejemplos más notables de manejo insostenible de recursos hídricos. Este problema tiene raíces en el crecimiento demográfico y urbano, así como en la alta dependencia del agua subterránea como fuente primaria de abastecimiento.

Al hacer una revisión de investigaciones recientes, observamos aspectos claves que determinan esta problemática: el Valle de México enfrenta tasas críticas de abatimiento de acuíferos (como hemos mencionado anteriormente), que se manifiestan en una subsidencia de hasta 40 cm por año en algunas zonas urbanas. Este fenómeno es el resultado de décadas de extracción no regulada y creciente presión sobre los recursos subterráneos, lo que ha transformado el acuífero de confinado a libre en ciertas áreas (Boyás et al., 2021).

Los hundimientos del terreno por la sobreexplotación han dañado infraestructura clave, incluidas carreteras y sistemas de alcantarillado, además de aumentar la vulnerabilidad a inundaciones. Este efecto amplifica el costo económico y social para la región metropolitana (Huizar-Álvarez et al., 2011). Estudios han señalado que las herramientas actuales de planificación y regulación de los acuíferos, como las concesiones de agua, no son efectivas para

detener la sobreexplotación. Se requiere una visión integral que considere dinámicas hidrológicas y sociales para implementar cambios en la gestión (Hernández et al., 2019). Las estrategias propuestas incluyen la regulación estricta de pozos, tecnologías avanzadas para la recarga artificial y la reducción de la dependencia del agua subterránea mediante sistemas alternativos de captación y tratamiento de agua (Martínez et al., 2019).

Cabe destacar que el pasado 25 de noviembre de 2024, el gobierno federal y los gobiernos estatales de los 32 estados del país firmaron el “Acuerdo Nacional por el Derecho Humano al Agua y la Sustentabilidad”. Este tiene como objetivo garantizar que el agua sea reconocida como un derecho humano, donde podemos destacar los siguientes puntos: (1) garantizar el derecho humano al agua en cantidad y calidad suficiente; (2) hacer eficiente el uso del agua en los procesos productivos de las actividades industriales, agrícolas y pecuarias; (3) invertir en infraestructura hídrica para mejorar el acceso y tratamiento del agua; (4) colaboración entre el sector público, privado y social para fortalecer el derecho humano al agua; (5) gestión eficaz y sustentable de las concesiones de agua; (6) impulsar la innovación tecnológica para el tratamiento, reúso y potabilización del agua; y (7) medidas de adaptación y mitigación frente a los efectos del cambio climático. Este acuerdo es parte del Plan Nacional Hídrico 2024-2030 que busca mitigar la crisis hídrica actual del país.

Por lo anterior, el objetivo principal del presente capítulo, es analizar la dinámica de los acuíferos del Valle de México, con énfasis en su abatimiento y sus repercusiones sociales, económicas y ambientales.

Para lograr este objetivo, el capítulo se articula desde un marco conceptual, donde se establece la definición de acuíferos y los patrones de flujo de agua subterránea; posteriormente se determina un panorama general de la situación hídrica en México mediante estadísticas clave sobre el uso de los acuíferos en el país, así como sus fuentes y gestión del agua, así como los principales desafíos de esta gestión y los factores que contribuyen a la crisis hídrica, como el cambio climático, el crecimiento poblacional y la falta de infraestructura adecuada.

Con esta información se hace un análisis del abatimiento de los acuíferos, mediante la utilización de bases de datos de la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, estos determinaron las áreas críticas de abatimiento, sobresaliendo el Valle de México,

entre los factores que contribuyen al abatimiento están la sobreexplotación y la perforación de pozos.

A continuación se determinan las consecuencias de la caída de los acuíferos, entre los que sobresalen la subsistencia del suelo, el impacto en la infraestructura existente y los efectos sobre el suministro (disponibilidad) de agua para las comunidades y las ciudades.

En consecuencia, se desarrolla el estudio de caso: Valle de México. Se describen sus características como descripción geográfica y socioeconómica de la región; se describe la evolución de la perforación de pozos y el impacto de la explotación acuífera, incluida la transición de acuíferos confinados a libres.

Se enfatiza en el manejo sostenible de los acuíferos la necesidad de un manejo eficiente, al hacer propuestas estratégicas sobre las políticas y tecnologías que pueden contribuir a la protección y recuperación de los acuíferos, así como las propuestas para mejorar la gestión hídrica (manejo de los acuíferos, recarga artificial, reducción de la extracción y el monitoreo constante).

Para finalmente concluir en las implicaciones a largo plazo, para reflexionar sobre el futuro del agua en México si no se adoptan medidas inmediatas y, por supuesto, un llamado a la acción para los responsables de la toma de decisiones y a la sociedad en general a involucrarse en la solución de la crisis hídrica.

## Marco conceptual

Los acuíferos son formaciones geológicas subterráneas compuestas por rocas, arena, grava u otros materiales permeables que almacenan y permiten el movimiento del agua subterránea. Estas formaciones actúan como grandes reservorios naturales que contienen agua acumulada en sus poros o fracturas (Lesser-Carrillo et al., 2011).

Existen tres tipos de acuíferos, los cuales son (1) acuíferos libres o no confinados, donde el agua subterránea está directamente en contacto con la atmósfera a través del suelo permeable, su nivel superior se denomina nivel freático; (2) acuíferos confinados, estos están cubiertos por una capa

de material impermeable, lo que genera presión y permite que el agua suba cuando se perfora un pozo; y (3) acuíferos semiconfinados, estos presentan capas de permeabilidad variable, donde el agua puede moverse lentamente (Siles et al., 2015).

La función de los acuíferos empieza con la recarga de agua de lluvia, ríos o lagos, que se infiltra a través del suelo permeable y recargan el acuífero. Posteriormente, esta agua se almacena y queda atrapada parcialmente en los poros o espacios vacíos entre los materiales, como arena o grava, esta agua presenta un movimiento o fluente a una velocidad que depende de la permeabilidad del material y la pendiente del terreno. Por último, los acuíferos presentan una descarga, al salir naturalmente a la superficie en forma de manantiales o ser extraída a través de pozos para diversos usos (Rodríguez-Tapia et al., 2016).

Los acuíferos son una pieza clave del ciclo hidrológico debido a que actúan como reservas naturales de agua, especialmente en climas áridos o durante épocas de sequía; tienen una función de regulación de caudales, al liberar agua lentamente a ríos, lagos y océanos, lo que estabiliza sus niveles incluso en estaciones secas. Esto provoca un suministro de agua para consumo humano, agricultura e industria. En muchas regiones, más del 50 % del agua potable proviene de acuíferos. Son parte fundamental de la conexión con otros sistemas, al interactuar con ecosistemas superficiales, como humedales y ríos, manteniéndolos vivos y funcionales (Lesser-Carrillo et al., 2011). Por lo tanto, la importancia de los acuíferos radica en la sostenibilidad, como fuente esencial de agua dulce renovable, siempre que la extracción no supere la recarga natural; en la seguridad hídrica y como amortiguadores climáticos (Siles et al., 2015).

Actualmente, los acuíferos presentan tres grandes desafíos asociados: (1) la sobreexplotación por extraer más agua de la que se recarga, esto puede agotar el acuífero y causar hundimientos del terreno (subsistencia); (2) la contaminación, se ha demostrado que las actividades humanas pueden introducir contaminantes, como nitratos o metales pesados, que afectan la calidad del agua; y (3) el cambio climático produce alteraciones en los patrones de lluvia, esto puede reducir la recarga de acuíferos y aumentar la presión sobre ellos (Rodríguez-Tapia et al., 2016).

En el mundo existen diversas fuentes naturales que proporcionan agua a diferentes sectores económicos de cada nación. En América, el agua subterránea es alrededor del 40 % del agua utilizada para todos los fines, exceptuando los de la industria eléctrica. Cabe señalar que poco más del 50 % de agua potable proviene de esta fuente. El 40 % del agua es utilizada para irrigación y esta proporciona el 25 % de las necesidades de la industria. Sin embargo, el uso desmedido de este recurso se ha traducido en la falta de este, principalmente en las regiones pobres del continente.

El agua subterránea es considerada uno de los recursos más valiosos que contamos, debido a que solo seis décimas partes del uno por ciento de toda el agua de la Tierra constituye esta fuente. Por ello, cuando se excluyen los casquetes polares y los glaciares, las aguas subterráneas forman la mayor parte del agua dulce de la hidrosfera.

Es muy importante señalar que el agua que fluye de los ríos no procede directamente de la lluvia o de los glaciares, más bien proviene del gran porcentaje de infiltración hacia el agua subterránea.

Cuando en una región llueve, el agua que se distribuye a lo largo del terreno la mayor parte se evapora y la restante se infiltra. Aquella agua que se infiltra es la fuente primaria de toda el agua subterránea. Cabe señalar que el agua que se infiltra depende del tipo de tierra, del espacio y del tiempo. Adicionalmente, la inclinación del terreno, la intensidad de la precipitación y el tipo de vegetación son factores importantes en este fenómeno.

Del agua que se infiltra, una parte de ella es retenida por atracción molecular a la superficie, lo que se denomina cinturón de humedad del suelo. Por otro lado, del agua que no se retiene como humedad alcanza espacios libres del sedimento y de rocas, conocido como la zona de saturación. Por lo que el agua que se encuentra en esta zona se define como agua subterránea.

De las aguas subterráneas, al límite superior sobre esta zona se le conoce como nivel freático. Es importante conocer el nivel freático para poder pronosticar la productividad de los pozos, conocer los flujos de las corrientes y los manantiales, así como observar la dinámica de los lagos. La profundidad en los niveles freáticos puede variar dependiendo de las zonas, en un intervalo entre cero (la superficie) y varios centenares de metros en algunos lugares.

La porosidad se refiere a la capacidad que tiene un material de permitir el movimiento de agua. Hay rocas o sedimentos que pueden ser muy porosos y, por ello, no permiten la transmisión de agua. Estos poros deben ser suficientemente grandes y estar conectados para permitir el flujo de agua, por lo que la permeabilidad de un material es la capacidad de transmitir un fluido.

Aquellos materiales que no permiten u obstaculizan el movimiento del agua se denominan acuicludo. Un ejemplo muy claro de estos materiales es la arcilla. En el caso de la arena o la grava es más porosa y, por lo tanto, permite un mejor movimiento del agua. A las rocas y sedimentos permeables que transmiten el agua subterránea libremente se le denomina acuífero.

Una de las herramientas más utilizadas en la actualidad para la extracción de agua subterránea es el pozo. El objetivo del pozo es, principalmente, llevar el agua subterránea a la superficie. El nivel del agua subterránea juega un papel fundamental, debido a que en épocas de sequía el nivel freático desciende, mientras que en épocas de lluvia puede recuperar el abastecimiento, lo que influye de manera directa en el suministro del agua del pozo. Desafortunadamente, cuando extraemos demasiada agua del pozo el nivel freático también se reduce, este efecto se conoce como descenso de nivel.

Debido a una mayor extracción del agua en el pozo y un descenso considerable en el nivel freático, se forma una cónica llamada cono de depresión. Cuando la extracción se vuelve muy intensa, entonces este cono de depresión se hace muy ancho y empinado, por lo que se corre el riesgo de secar el pozo y llegar a su abatimiento.

## **Situación hídrica en México**

La creciente población en México y su capacidad económica ha llevado inevitablemente a una mayor demanda de las fuentes de abastecimiento del agua, básicamente como resultado de la necesidad de producir alimentos para abastecer a las zonas urbanas y rurales.

La producción y consumo de bienes y servicios ha generado una mayor demanda del vital líquido, también una mayor generación de aguas residuales por las actividades antropométricas, de las cuales una porción importante se vierten sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales, lo que genera la contaminación, degradación y pérdida de la biodiversidad. La contaminación de las aguas superficiales y de los acuíferos trae como consecuencia la reducción de la disponibilidad del líquido, por lo tanto, se requieren procesos e inversiones económicas, así como mitigar la contaminación, para su tratamiento y potabilización de las aguas residuales.

Los efectos sociales, demográficos, económicos y ambientales se agravan con el cambio climático, de acuerdo con las proyecciones podría aumentar el riesgo de inundaciones y sequías por los cambios en la intensidad y distribución geográfica de la población y de la precipitación, ante estos escenarios el manejo del agua en México representa un reto ambiental para el futuro.

Por lo anterior, es importante considerar dos fenómenos, el aumento de la población y su concentración en las zonas urbanas, y las tendencias de usos del recurso hídrico derivados del crecimiento de las actividades industriales y económicas de la población.

Con base a las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), entre los años 2022 y 2030 la población en México incrementará en 8.13 millones de personas; además, se estima que en el 2030 el 78.3 % de la población total se asentará en localidades urbanas, se considera como localidad rural a aquella con una población menor de 2500 habitantes, mientras que una urbana se refiere a poblaciones con más de 2500 habitantes.

Para el periodo 2022–2030, más de la mitad del crecimiento poblacional total (56 %) se concentrará en las regiones hidrológicas administrativas (RHA), en la VIII Lerma-Santiago-Pacífico, XIII Aguas del Valle de México, VI Río Bravo y IV Balsas. A diferencia en las regiones, las cuatro RHA con menor crecimiento poblacional serán I Península de Baja California, VII Cuencas Centrales del Norte, III Pacífico Norte y II Noroeste, con el 16.6 % del crecimiento para dicho periodo, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. *Proyección de la población para el año 2030 (miles de habitantes)*

Número de RHA	Población rural			Población urbana			Población total		
	2022	2030	Incremento 2022-2030	2022	2030	Incremento 2022-2030	2022	2030	Incremento 2022-2030
I	466	537	72	4 498	4 975	478	4 964	5 513	549
II	491	524	33	2 603	2 833	230	3 094	3 357	263
III	1 399	1 395	- 4	3 388	3 662	274	4 787	5 057	270
IV	3 645	3 844	199	8 934	9 471	537	12 579	13 315	736
V	2 070	2 143	73	3 186	3 257	71	5 256	5 400	144
VI	883	925	42	12 440	13 443	1 002	13 323	14 368	1 045
VII	1 186	1 202	16	3 669	3 922	254	4 855	5 125	270
VIII	5 556	5 839	282	20 410	21 860	1 450	25 966	27 699	1 732
XI	2 438	2 488	50	3 175	3 475	300	5 613	5 963	350
X	4 602	4 727	125	6 502	6 880	378	11 104	11 607	503
XI	3 843	4 001	158	4 413	4 843	430	8 256	8 844	588
XII	786	830	44	4 406	5 004	598	5 192	5 834	642
XII	1 292	1 378	86	23 070	24 023	952	24 362	25 401	1 039
Total	28 658	29 834	1 176	100 694	107 647	6 954	129 352	137 481	8 129

Fuente: elaborado con base en CONAPO (2012).

El uso del agua de manera eficiente es un reto para el gobierno de México, ya que el agua se utiliza en diferentes formas en las actividades humanas para subsistir o para la producción e intercambio de bienes y servicios. El mayor consumo concesionario es el uso colectivo agrícola para fines de riego en los años 2021 y 2022; como se indica en la tabla 2 el agua proviene de las aguas superficiales y subterráneas y su volumen total se calcula en miles de hectómetros cúbicos ( $\text{hm}^3$ ). Un hectómetro cúbico es una unidad de volumen que equivale a un millón de metros cúbicos ( $1 \text{ hm}^3 = 1\,000\,000 \text{ m}^3$ ).

Tabla 2. *Usos agrupados consuntivos por fuente de agua*

Año	Uso agrupado	Fuente		Volumen total (miles de $\text{hm}^3$ )	Porcentaje de extracción
		Superficial (miles de $\text{hm}^3$ )	Subterránea (miles de $\text{hm}^3$ )		
2021	Agrícola	42.87	25.20	68.07	75.7
	Abastecimiento público	5.77	7.52	13.29	14.8
	Industria autoabastecida	2.09	2.53	4.62	5.1
	Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	3.62	0.35	3.97	4.4
	Total	54.34	35.60	89.94	100.0

Año	Uso agrupado	Fuente		Volumen total (miles de hm <sup>3</sup> )	Porcentaje de extracción
		Superficial (miles de hm <sup>3</sup> )	Subterránea (miles de hm <sup>3</sup> )		
2022	Agrícola	43.11	25.41	68.52	76.3
	Abastecimiento público	5.77	7.56	13.33	14.8
	Industria autoabastecida	1.81	2.46	4.27	4.8
	Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	3.25	0.43	3.68	4.1
	Total	53.94	35.86	89.80	100.0

Fuente: Conagua (2023b). Subdirección General de Administración del Agua.

La distribución del agua en México representó el 91.1 % para uso agrícola y abastecimiento público, fue para el año 2022 del volumen concesionado a escala nacional. En la siguiente tabla se indican los porcentajes de los usos del agua.

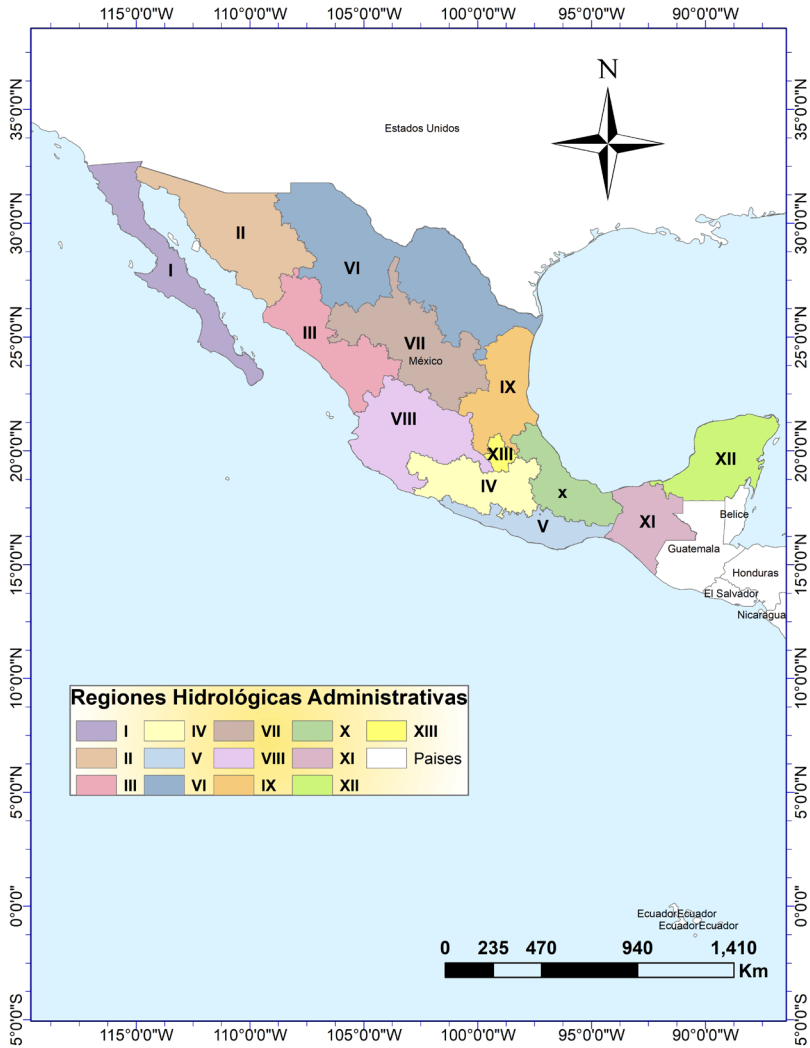
Tabla 3. Usos agrupados del agua

Usos	Tipos de industrias	Porcentaje	Año
Agrícola	El agua se utiliza para los sistemas de riego de la producción de cultivos.	76.3 %	2022
Abastecimiento público	Agua utilizada en los domicilios, industrias y a todas las que estén conectadas a través de las redes de agua potable.	14.8 %	
Industrias autoabastecidas	Son las utilizadas por aquellas empresas que toman el agua directamente de los cuerpos de agua .	4.8 %	
Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	Agua utilizada para la producción de electricidad.	4.1 %	

Fuente: Conagua (2023b). Subdirección General de Administración del Agua.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2023c) las regiones hidrológicas son áreas territoriales conformadas en función de sus tipologías morfológicas, orográficas e hidrológicas; la cuenca hidrológica se considera como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos. México desagrega en 757 cuencas hidrológicas, agrupadas en 37 regiones hidrológicas y segmentadas 13 regiones hidrológicas administrativas (RHA), en la figura 1 se muestra la localización de las RHA distribuidas en el territorio nacional.

Figura 1. Localización de las regiones hidrológicas administrativas



Fuente: Conagua (2023c).

En la tabla 4 se identifican las 13 regiones hidrológicas administrativas del país, con su superficie y el porcentaje que ocupa cada una de ellas.

Tabla 4. *Regiones hidrológicas administrativas*

<i>Regiones hidrológicas administrativas</i>			
<i>Clave</i>	<i>Nombre de la RHA</i>	<i>Superficie (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Porcentaje</i>
I	Península de Baja California	154 279.000	7.87
II	Noroeste	196 326.000	10.02
III	Pacífico Norte	152 007.000	7.76
IV	Balsas	116 439.000	5.94
V	Pacífico Sur	82 775.000	4.22
VI	Río Bravo	390 440.000	19.93
VII	Cuencas Centrales del Norte	187 621.000	9.58
VIII	Lerma Santiago Pacífico	192 722.000	9.84
IX	Golfo Norte	127 064.000	6.49
X	Golfo Centro	102 354.000	5.22
XI	Frontera Sur	99 094.000	5.06
XII	Península de Yucatán	139 897.000	7.14
XIII	Aguas del Valle de México	18 229.000	0.93
	Superficie Total	1 959 248.000	

Fuente: Conagua (2023a).

En lo que se refiere a la administración de las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos. Con el ciclo hidrológico una parte del agua regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración y el resto escurre por corriente y cuerpos de agua, la cual se infiltra al subsuelo como agua subterránea, de este proceso se da la recarga de los acuíferos.

### **Análisis del abatimiento de los acuíferos**

El abatimiento de los acuíferos en México es un problema significativo que afecta tanto la disponibilidad de agua como la estabilidad del suelo. Este análisis aborda el problema mediante el uso de bases de datos oficiales, la identificación de áreas críticas y la evaluación de los factores que contribuyen al fenómeno.

Para el análisis del abatimiento de los acuíferos se emplearon las bases de datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el Registro Público de Derechos de Agua y el Inventario Nacional de Acuíferos para obtener información sobre el volumen de extracción, disponibilidad, y recarga de agua subterránea. Estos datos permitieron identificar acuíferos sobreex-

plotados y zonas críticas; por otro lado, también se utilizó el Monitoreo de Niveles de Agua Subterránea, que proporcionó datos históricos sobre el descenso del nivel freático en pozos estratégicos en todo el país.

También se utilizaron las bases de datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que aportó información sobre impactos ambientales asociados al abatimiento, como subsidencia del terreno y pérdida de humedales. Asimismo, se consultaron reportes de impacto ambiental y estudios regionales sobre la calidad del agua subterránea.

El análisis combinó estos datos mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) para mapear tendencias de abatimiento, con énfasis en el descenso del nivel freático y las tasas de extracción.

Se detectaron tres áreas críticas de abatimiento:

1. Valle de México: la zona registra el mayor abatimiento del país, con descensos de hasta 1.5 metros anuales en el nivel freático. La extracción masiva para abastecer a la Ciudad de México es la principal causa, lo que contribuye también a la subsidencia del suelo, que alcanza tasas de hasta 285 mm/año en algunas áreas (Siles et al., 2015).
2. Aguascalientes y León: estas ciudades presentan niveles de extracción que superan la recarga natural, que generan daños en la infraestructura debido a fracturas del terreno y comprometiendo la calidad del agua (Lesser-Carrillo et al., 2011).
3. Valle del Mezquital (Hidalgo): a pesar de recibir agua residual de la Ciudad de México para riego, la infiltración insuficiente no compensa el volumen extraído, esto afecta tanto la disponibilidad de agua como su calidad (Lesser-Carrillo et al., 2011).

Se observaron diversos factores que contribuyeron al abatimiento, los cuales son los siguientes

1. Sobreexplotación en las zonas urbanas e industriales, la extracción supera hasta cuatro veces la recarga natural. La demanda de agua para consumo humano, agricultura e industria son las principales causas (Rodríguez-Tapia et al., 2016).

2. Perforación de pozos ilegales. La falta de regulación efectiva permite la proliferación de pozos clandestinos, lo que agrava la extracción no controlada de agua subterránea.
3. El cambio climático, la disminución en la precipitación y la alteración de los patrones de lluvia afectan la recarga de acuíferos, lo que incrementa la presión sobre los recursos existentes.
4. Infraestructura insuficiente, la carencia de sistemas de captación de agua pluvial y el manejo inadecuado de aguas residuales limitan la recarga artificial de los acuíferos en áreas críticas.

El abatimiento de los acuíferos en México es una crisis multifactorial que requiere estrategias integrales de manejo, que incluyen la regulación estricta de la extracción, la mejora de infraestructura para la recarga artificial y la promoción de prácticas de uso sostenible. La colaboración entre instituciones gubernamentales y comunidades locales es esencial para mitigar estos impactos a largo plazo.

## Desarrollo. Estudio de caso: Valle de México

El acuífero del Valle de México está localizado en los estados de Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala y todo el territorio de la Ciudad de México, su sede administrativa del acuífero es la Ciudad de México, este acuífero aglomera 121 municipios, (localizada en la Región Hidrológica Administrativa y con una superficie de 18,228 km<sup>2</sup> (Conagua, 2018). En la tabla 5 se muestra la distribución de la población y proyección al 2050, superficie y municipios de la RHA XIII.

Tabla 5. *Distribución poblacional y proyección al 2050, superficie y municipios de la RHA XIII*

Subregión/entidad federativa	Población 2020			Población al 2050 total (hab)	Superficie km <sup>2</sup>	No. de Municipios
	Rural (hab)	Urbana (hab)	Total (hab)			
Ciudad de México	64 312	9 145 632	9 209 944	8 264 501	148.65	16
Hidalgo	558 191	1 340 919	1 899 110	1 057 896	62.92	39
Estado de México	622 397	11 864 845	12 487 242	15 468 551	50 836	62
Tlaxcala	16 684	68 817	85 501	116 091	48.41	4
Valle de México	674 635	21 677 486	22 352 121	SD	SD	SD

<i>Subregión/entidad federativa</i>	<i>Población 2020</i>			<i>Población al 2050 total (hab)</i>	<i>Superficie km<sup>2</sup></i>	<i>No. de Municipios</i>
	<i>Rural (hab)</i>	<i>Urbana (hab)</i>	<i>Total (hab)</i>			
Valle de Tula	586 949	742 727	1 329 676	1 852 261	842.65	36
Total, RHA XIII	1 261 584	22 420 213	23 681 797	26 759 300	1810.99	121

Fuente: Conagua (2023b).

Los desafíos que actualmente tiene la gestión hídrica se deben de abordar mediante la planificación sostenible, la inversión en infraestructura moderna y la implementación de políticas que prioricen la equidad y la conservación del agua. Sin un enfoque integral la crisis hídrica seguirá intensificando. Estos desafíos los podemos clasificar en tres grandes grupos:

1. Cambio climático. Altera los patrones de precipitación, lo que causa sequías prolongadas en algunas áreas y lluvias intensas en otras. Esto dificulta la gestión eficiente de los recursos hídricos, al tiempo que reduce la recarga natural de acuíferos y aumenta el estrés sobre las fuentes existentes (Lesser-Carrillo et al., 2011). Los eventos extremos, como inundaciones, pueden dañar la infraestructura hídrica y aumentar la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Rodríguez-Tapia et al., 2016).
2. Crecimiento poblacional. El aumento de la población ejerce una presión creciente sobre los recursos hídricos, tanto en cantidad como en calidad. Esto incrementa la demanda para usos domésticos, agrícolas e industriales, lo que lleva a la sobreexplotación de fuentes de agua, como acuíferos y ríos (Siles et al., 2015). En zonas urbanas, la falta de planificación en el crecimiento puede saturar las infraestructuras existentes, por lo que los sistemas de distribución son ineficientes o insuficientes para satisfacer las necesidades básicas.
3. Falta de infraestructura adecuada. Muchas regiones carecen de infraestructura para almacenar, distribuir y tratar el agua de manera eficiente. Esto incluye la ausencia de sistemas de captación, plantas de tratamiento y redes de distribución modernas, lo que contribuye a pérdidas por fugas y contaminación (Siles et al., 2015). La infraestructura obsoleta también limita la capacidad de respuesta a eventos climáticos extremos, lo que exacerba los efectos de sequías o inundaciones.

La caída de los niveles de los acuíferos en México tiene implicaciones graves en aspectos físicos, sociales y económicos. La extracción excesiva de agua subterránea ha provocado el colapso de sedimentos no consolidados en los acuíferos, lo que genera hundimientos o subsidencia del suelo.

En regiones como el Valle de México, las tasas de subsidencia han alcanzado hasta 40 cm/año, lo que representa una de las mayores tasas a nivel mundial. Esto ocurre principalmente en áreas con depósitos de arcilla altamente compresibles (Siles et al., 2015).

La compactación de los estratos puede ser permanente, reduce la capacidad de almacenamiento del acuífero y agrava la crisis hídrica (Lesser-Carrillo et al., 2011).

La subsidencia asociada al abatimiento de los acuíferos genera daños significativos en la infraestructura, incluyendo edificios y viviendas, el hundimiento desigual del terreno provoca grietas en cimientos y estructuras, lo que pone en riesgo la seguridad de los habitantes.

Se registran deformaciones y fisuras, lo que incrementa los costos de mantenimiento y reduce la vida útil de estas infraestructuras de carreteras y vías férreas (Siles et al., 2015).

La subsidencia afecta la pendiente de los sistemas de drenaje, como el Túnel Emisor Oriente en el Valle de México, que compromete la eficiencia en el manejo de aguas pluviales y residuales (Siles et al., 2015).

La caída de los acuíferos afecta directamente la disponibilidad y calidad del agua para comunidades y ciudades. La reducción de reservas y la extracción acelerada superan la capacidad de recarga natural, lo que reduce significativamente las reservas subterráneas de agua. En el Valle de México se extrae el 70 % del agua potable directamente de acuíferos, lo que agrava la crisis hídrica (Rodríguez-Tapia et al., 2016).

Contaminación de los acuíferos y el descenso de los niveles freáticos aumentan el riesgo de intrusión salina en acuíferos costeros y contaminación por infiltración de aguas residuales.

Las comunidades rurales y peri urbanas enfrentan un suministro insuficiente debido al agotamiento de pozos poco profundos y al encarecimiento de nuevas perforaciones (Lesser-Carrillo et al., 2011).

La caída de los acuíferos en México genera consecuencias graves, que van desde la subsidencia del suelo hasta el impacto en infraestructura crí-

tica y el acceso al agua. Estas problemáticas destacan la urgencia de implementar estrategias de manejo sostenible del agua, que incluyen regulaciones estrictas sobre la extracción, inversiones en infraestructura para recarga artificial y políticas de conservación.

La perforación de pozos en el Valle de México ha sido una respuesta directa a la escasez de agua que afecta a la región debido al crecimiento poblacional y a la urbanización descontrolada. Estudios recientes destacan el impacto acumulativo de esta sobreexplotación y evidencian que las técnicas tradicionales de extracción ya no son sostenibles.

Esta perforación de pozos ha evolucionado significativamente debido a la creciente demanda de agua y la sobreexplotación del recurso subterráneo. Hernández-Vivanco et al. (2020) analizaron la variabilidad temporal de los niveles de agua en el acuífero del valle de Tecamachalco, una región asociada al Valle de México. Encontraron un abatimiento promedio de 14 metros en dos décadas, lo que evidencia el impacto de la extracción excesiva y la falta de una gestión sostenible del agua subterránea.

Entre los impactos más significativos de la extracción intensiva de agua subterránea tenemos la subsidencia del terreno y problemas estructurales. Cigna y Tapete (2021) realizaron un estudio sobre subsidencia controlada estructuralmente en el valle de Aguascalientes, destacando patrones que también se observan en el Valle de México debido a la explotación prolongada.

Se han puesto en práctica innovaciones en técnicas de perforación y gestión, Sola et al. (2020) analizaron la dinámica de los acuíferos de densidad variable y su relación con la perforación de pozos. Este enfoque permitió identificar similitudes con procesos tectónicos y evaluar cómo la extracción de agua puede redistribuir cargas hidrostáticas, para ofrecer nuevas perspectivas en la planificación y manejo de pozos (Sola et al., 2020).

Lo anterior permite la reinyección y sostenibilidad hídrica, como ejemplo observamos que en la Cuenca Oriente Ayala et al. (2020) exploraron estrategia para la reinyección de aguas residuales en formaciones adecuadas, para mitigar los impactos ambientales y mejorar la sostenibilidad de los pozos. Este método es crucial para enfrentar la creciente demanda de agua y reducir la presión sobre los acuíferos (Ayala et al., 2020).

La innovación en la gestión de pozos, así como la implementación de técnicas de reinyección y el monitoreo de la subsidencia mediante tecnolo-

gía satelital, ofrece nuevas oportunidades para mitigar estos problemas. Esto será esencial para garantizar la seguridad hídrica en el Valle de México en el futuro.

### Acuíferos de la región hidrológica administrativa XIII

En la tabla 6 se indica la región hidrológica administrativa XIII del Valle de México, las aguas subterráneas corresponden a la disponibilidad de los acuíferos, donde se presentan las entradas (recarga) y salidas (descargas) que provocan una variación en el almacenamiento del propio acuífero. En la región hay 14 acuíferos con una recarga total de 2 289 millones de m<sup>3</sup>/año, una extracción de 2 245 millones de m<sup>3</sup>/año y con una disponibilidad de 182.00 millones de m<sup>3</sup>/año. Los 14 acuíferos están distribuidos y localizados en la Ciudad de México con las 16 delegaciones, en el estado de Hidalgo están localizados nueve acuíferos, en el estado de México se encuentran identificados tres y en Tlaxcala solamente un acuífero (Conagua, 2018).

Tabla 6. Acuíferos de la RHA XIII Valle de México

No.	Clave	Nombre de acuífero	Recarga (millones de m <sup>3</sup> )	Extracción (millones de m <sup>3</sup> )	Disponibilidad (millones de m <sup>3</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )
1	9901	Zona metropolitana Cd. de México	512.80	1 020.03	0.00	2 103.7
2	1308	El Astillero	3.30	0.76	2.54	105.9
3	1309	Chapantango- Alfajayucan	136.90	9.28	14.72	894.6
4	1310	Valle del Mezquital	515.00	184.43	37.67	2 714.1
5	1311	Ajacuba	25.70	5.10	5.00	270.7
6	1312	Ixmiquilpan	150.10	8.50	17.00	885.3
7	1313	Actopan-Santiago de Anaya	208.10	61.11	56.99	1 065.1
8	1316	Tepeji del río	46.30	15.64	0.00	403.9
9	1319	Tecocomulco	27.80	2.97	24.33	476.4
10	1320	Apan	30.30	30.01	0.29	733.3
11	1506	Chalco-Amecameca	74.00	99.42	0.00	946.5
12	1507	Texcoco	145.10	245.72	0.00	933.6
13	1508	Cuautitlán-Pachuca	356.70	545.40	0.00	3 870.5
14	2902	Soltepec	57.00	17.33	23.47	819.6
Total RHA XIII			2 289.10	2 245.71	181.90	16 222.92

Fuente: Conagua (2020).

## Conclusiones

La sobreexplotación de los acuíferos en México, particularmente en el Valle de México, representa una crisis hídrica de proporciones alarmantes. El abatimiento acelerado de los niveles freáticos, producto de una extracción desmedida del agua subterránea, ha desencadenado una serie de problemas ambientales, sociales y económicos. La subsidencia del terreno, el deterioro de la infraestructura, la contaminación de las fuentes de agua y la disminución de la disponibilidad hídrica son algunas de las consecuencias más evidentes. Esta situación ha generado una competencia creciente por el acceso al agua, que afecta principalmente a las poblaciones más vulnerables. La falta de una gestión integral y sostenible de los recursos hídricos, caracterizada por la ausencia de políticas públicas efectivas y la fragmentación institucional, ha agravado la crisis.

Para revertir esta tendencia es necesario implementar un conjunto de medidas urgentes y coordinadas, tales como la regulación estricta de la extracción de agua, la promoción de prácticas agrícolas y urbanas más eficientes, la inversión en infraestructura para la captación y tratamiento de agua, y la concientización de la población sobre la importancia del cuidado del agua. Asimismo, es fundamental fortalecer la investigación científica para desarrollar nuevas tecnologías y herramientas que permitan una gestión más sostenible de los acuíferos. La crisis hídrica en México representa un desafío complejo que requiere la participación activa de todos los sectores de la sociedad, desde los gobiernos hasta los ciudadanos, con el objetivo de garantizar la seguridad hídrica para las generaciones presentes y futuras.

Si permitimos que la crisis hídrica se agudice las implicaciones a largo plazo serán catastróficas. La escasez de agua limitará el crecimiento económico, generará conflictos sociales y pondrá en riesgo la seguridad alimentaria. Para evitar este escenario es fundamental fomentar la colaboración entre los diferentes actores involucrados, desde los gobiernos hasta la sociedad civil. La innovación tecnológica, la investigación científica y la transferencia de conocimientos serán clave para desarrollar soluciones sostenibles y adaptadas a las necesidades de cada región. Asimismo, es necesario pro-

mover una cultura del agua que fomente el uso responsable y la valoración de este recurso vital.

La región hidrológica administrativa XIII aguas del Valle de México tiene una superficie de 18 228 km<sup>2</sup> y en la que habitan 23 681 797 millones de habitantes, para el año 2050 habrá una población de 26 759 300 habitantes, convirtiéndola en la región más densamente poblada del país. La densidad poblacional y la constante demanda y extracción de agua inducen a una elevada presión del recurso hídrico. El sistema hidrológico es complejo porque la RHA está integrada por 13 cuencas hidrológicas y 14 acuíferos, de los cuales cuatro están sobreexplotados y en subconjunto tres de estos se encuentran entre los 15 acuíferos con altos niveles de sobreexplotación del país como son el acuífero zona metropolitana de la Ciudad de México, acuífero Cuautitlán -Pachuca y acuífero Texcoco; así mismo, los tres acuíferos cuentan con disponibilidad de agua subterránea de cero.

Con base en lo expuesto anteriormente se concluye que la región hidrológica de aguas (RHA) XIII del Valle de México enfrenta una sobreexplotación debido a diversos fenómenos sociales, económicos e industriales en la zona. Los datos disponibles indican que esta sobreexplotación es consecuencia de las concesiones otorgadas para la perforación de pozos de agua para empresas, de las cuales muchas de ellas demandan grandes volúmenes de este recurso. A esto se suma el fenómeno de la migración de poblaciones de áreas semiurbanas y rurales hacia la ciudad, lo que contribuye al crecimiento de los centros urbanos. En este contexto, el acuífero de Cuautitlán-Pachuca se presenta como uno de los más importantes de la región RHA XIII, ya que es crucial para el suministro de agua para la Zona Metropolitana. Adicionalmente se recomienda la tecnificación de medidas de riego agrícola para mejorar la gestión de los recursos hídricos.

## Referencias

- Ayala, D., Ayala, S. y Pabón, G. (2020). Análisis y selección de un pozo reinjector en la Cuenca Oriente. *Revista Fuentes: El Reventón Energético*, 18(1), 51-59. <https://doi.org/10.18273/revfue.v18n1-2020006>
- Boyás Martínez, E., González Mora, M. F. y Paredes-Tavares, J. (2021). Determinación de sitios potenciales de recarga artificial de agua subterránea en cinco acuíferos de la

- Zona Metropolitana del Valle de México. *Cuadernos Geográficos*, 60(3). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.16226>
- Cigna, F. y Tapete, D. (2021). Satellite InSAR survey of structurally-controlled land subsidence due to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Remote Sensing of Environment*, 254, 112254. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112254>
- Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2018, 4 de enero). *Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican*. DOF: 04/01/2018.
- Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2020, 17 de septiembre). *Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican*. DOF: 17/09/2020.
- Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2023a). *Estadísticas del agua en México*. Conagua.
- Comisión Nacional del Agua [Conagua]. (2023c). Subdirección General Técnica.
- Consejo Nacional de Población [CONAPO]. (2012). *Proyección de la población 2010-2050*. CONAPO. <http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Proyecciones>
- Hatch-Kuri, G., & Carrillo-Rivera, J. J. (2021). Groundwater flow systems and their importance in the assessment of transboundary groundwater: the Mexico-U.S.A. case. In M. M. Alconada-Magliano (Ed.), *Intensified land and water use. A holistic perspective of local to regional integration* (pp. 141-161). Cham: Springer.
- Hernández Juárez, R. A., Martínez Rivera, L. M., Peñuela-Arévalo, L. A. y Rivera-Reyes, S. (2019). Gestión del agua subterránea en los acuíferos de la cuenca del río Ayuquila-Armería en Jalisco y Colima, México. *Región y Sociedad*, 31. <https://doi.org/10.22198/rys2019/31/1093>
- Hernández-Vivanco, L., Villarreal-Manzo, L. A., Ramírez-Valverde, B., Ocampo-Fletes, I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Ortiz-Espejel, B. y Tochihuitl-Tepox, A. (2020). Temporal variability of the groundwater level in the Tecamachalco Valley aquifer, Puebla, México, 1997-2016. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(1), 3-20. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.09.018>
- Huizar-Álvarez, R., Mitre-Salazar, L. M., Marín-Córdova, S., Trujillo-Candelaria, J. y Martínez-Reyes, J. (2011). Subsidence in Celaya, Guanajuato, Central Mexico: implications for groundwater extraction and the neotectonic regime. *Geofísica Internacional*, 50(3). <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1137554255>
- Lesser-Carrillo, L. E., Lesser-Illades, J. M., Arellano-Islas, S. y González-Posadas, D. (2011). Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28, 323-336.
- Martínez Austria, P. F., Díaz-Delgado, C. y Moeller-Chavez, G. (2019). Seguridad hídrica en México: diagnóstico general y desafíos principales. *Ingeniería del Agua*, 23(2), 107-121. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10502>

- Pastrana-Miranda, T. y González-Caamal, M. M. (2022). Injusticia ambiental y marginación: la falta de acceso al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Territorios*, (46), 1-25. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.9931>
- Rodríguez Esteves, J. M. (2020). El desafío sociohidrológico de la cuenca del río Tijuana ante el cambio climático. *Región y Sociedad*, 32. <https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1377>
- Rodríguez-Tapia, L., Morales-Novelo, J. A., Sosa-Rodríguez, F. S., Altamirano-Cabrera, J. C. y Torres-Ayala, F. (2016). Agua virtual en un marco insumo-producto para la cuenca del Valle de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7, 51-66.
- Siles, G. Ll., Alcérreca-Huerta, J. C., López-Quiroz, P. y Carrera Hernández, J. (2015). On the potential of time series InSAR for subsidence and ground rupture evaluation: Application to Texcoco and Cuautitlan-Pachuca subbasins, northern Valley of Mexico. *Natural Hazards*, 79(2), 1091-1110. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1894-4>.
- Siles, G., López-Quiroz, P., Cerca, M. y Niemeier, W. (2015). *Soil fracturing identification in Southern Zona Metropolitana del Valle de Mexico by means of multi-pass InSAR and GPR*. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan, Italia (pp. 3548-3551). <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326587>
- Sola, F., Muñoz, A. e Izquierdo, Á. (2020). Acuíferos con flujo de densidad variable como análogos a los movimientos isostáticos litosféricos. *Geogaceta*, 67, 83-86.
- Toscana Aparicio, A. y Villaseñor Franco, A. (2021). Construcción social del desastre detonado por el sismo 19S en las alcaldías Tláhuac y Xochimilco, Ciudad de México. *TERRA Revista de Desarrollo Local*, (8), 474-505. <https://doi.org/10.7203/terra.8.20447>