

La gestión de los usos del agua en tres subregiones hidrológicas

Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva

Ismael Aguilar-Benitez
(*coordinador*)



El Colegio
de la Frontera
Norte

La gestión
de los usos del agua
en tres subregiones hidrológicas

Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva

La gestión de los usos del agua en tres subregiones hidrológicas

Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva

Ismael Aguilar-Benitez
(*coordinador*)

La gestión de los usos del agua en tres subregiones hidrológicas : Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva / Ismael Aguilar Benitez, coordinador. — Tijuana : El Colegio de la Frontera Norte, 2020.

12.5 MB (302 pp.)

ISBN: 978-607-479-364-2

1. Agua — Abastecimiento — México. 2. Desarrollo de recursos hidrológicos — México. I Aguilar Benitez, Ismael

HD 169 .M6 G4 2020

Esta publicación fue sometida a un proceso de dictaminación doble ciego por pares académicos externos a El Colef, de acuerdo con las normas editoriales vigentes en esta institución.

Primera edición, diciembre de 2020

D. R. © 2020 El Colegio de la Frontera Norte, A. C.

Carretera escénica Tijuana-Ensenada km 18.5

San Antonio del Mar, 22560

Tijuana, Baja California, México

www.colef.mx

ISBN: 978-607-479-364-2

Coordinación editorial: Érika Moreno Páez

Corrección y formación: Herlinda Contreras Maya

Última lectura: Estefanía Amaro López

Diseño de cubierta: Herlinda Contreras Maya

Imagen de cubierta: Ismael Aguilar-Benitez, Pozo la Becerra,

Cuatro Ciénegas, Coahuila, 2020.

Hecho en México / *Made in Mexico*

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	9
<i>Ismael Aguilar-Benitez</i>	
INTRODUCCIÓN	11
<i>Ismael Aguilar-Benitez</i>	
DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LAS SUBREGIONES RÍO SAN JUAN, VALLE DE MÉXICO Y BAJO GRIJALVA	
Caracterización hidrológica de las subregiones de estudio	21
<i>Eugenio Gómez-Reyes y Felipe Omar Tapia-Silva</i>	
Disponibilidad natural de agua en las subregiones de estudio	55
<i>Felipe Omar Tapia-Silva y Eugenio Gómez-Reyes</i>	
PRINCIPALES USOS COMPETITIVOS DEL AGUA EN LAS TRES SUBREGIONES DE ESTUDIO	
De la escasez a la abundancia: Panorama actual del uso agrícola del agua en tres subregiones hidrológicas de México	81
<i>M. Azahara Mesa-Jurado, Sergio Colín Castillo y Myriam Astrid Botero-Arias</i>	

Un análisis de eficiencia en el uso doméstico urbano de las tres subregiones hidrológicas de estudio <i>Ismael Aguilar-Benitez</i>	119
Valor económico del agua en la industria manufacturera de las tres subregiones hidrológicas de estudio <i>Jorge A. Morales-Novelo, Daniel A. Revollo-Fernández y Lilia Rodríguez-Tapia</i>	149
Uso del agua en la industria de explotación de hidrocarburos y minerales en tres subregiones hidrológicas de México <i>Lilia Rodríguez-Tapia, Daniel A. Revollo-Fernández y Jorge A. Morales-Novelo</i>	177
Caudal ecológico: Un análisis comparativo de tres subregiones hidrológicas <i>Silvia Alicia Rodríguez Tapia, Ana Elizabeth Marín Celestino y Lilia Rodríguez Tapia</i>	203
<p>POSIBILIDADES DE IMPLEMENTACIÓN DEL ENFOQUE GIRH EN LAS SUBREGIONES HIDROLÓGICAS DE ESTUDIO</p>	
La implementación del modelo de gestión integrada de los recursos hídricos en las subregiones de estudio y sus retos en materia institucional y legal <i>Fabiola S. Sosa-Rodríguez, José Luis Castro Ruíz y Esthela I. Sotelo Núñez</i>	223
Evaluación de la gestión integrada de los recursos hídricos: Retos y avances <i>Fabiola S. Sosa Rodríguez y José Luis Castro Ruíz</i>	255
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES <i>Ismael Aguilar-Benitez, Eugenio Gómez-Reyes, Felipe Omar Tapia-Silva, Lilia Rodríguez-Tapia, M. Azahara Mesa-Jurado, Sergio Colín Castillo, Silvia Alicia Rodríguez Tapia, Fabiola S. Sosa-Rodríguez y José Luis Castro Ruíz</i>	285
ACERCA DE LOS AUTORES	293

PRESENTACIÓN

Los trabajos de investigación que generaron esta publicación tienen su origen en el Proyecto PDCPN-2014-248719, «Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrológica: Un análisis de la disponibilidad y usos», apoyado por vía de la convocatoria Problemas Nacionales 2014 del Consejo de Ciencia y Tecnología (Conacyt). En este proyecto participamos investigadores de cinco instituciones: El Colegio de la Frontera Norte (El Colef); la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), planteles Azcapotzalco e Iztapalapa; El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR); la Universidad Autónoma de la Sierra Juárez de Oaxaca (UNSIJ) y la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC). El grupo de trabajo, formado originalmente por 11 investigadores, se propuso reflexionar sobre las posibilidades de integrar el análisis de la gestión del agua a partir de sus distintos usos, comenzando con identificar unidades hidrológicas que posibiliten la implementación de políticas públicas.

Específicamente, y bajo un enfoque comparativo, se planteó estudiar los usos del agua en tres subregiones hidrológicas (SRH), cada una perteneciente a una distinta región hidrológico-administrativa (RHA) –como se encuentran definidas por la Comisión Nacional del Agua (Conagua)–. De esta forma, las tres subregiones fueron nuestras unidades de análisis. Para definir las se tomaron en cuenta las condiciones de disponibilidad de agua y las características climáticas y socioeconómicas. En general, se propuso ofrecer un panorama multidisciplinario y diverso de las problemáticas y de las alternativas de gestión.

La necesidad de considerar también la viabilidad del enfoque de la gestión integrada del agua se planteó como punto de partida para llegar a una obligada reconceptualización de ese enfoque, predominante tanto en la academia como en el sector de la administración pública del agua en México y recientemente cuestionado tanto en sus alcances teóricos como en su viabilidad y eficacia para lograr una gestión sostenible del agua. Este ejercicio, sin embargo, no se limitó al ámbito de la reflexión académica,

sino que también se difundió como una discusión necesaria en seminarios y foros nacionales e internacionales enfocados en la gestión del agua.

Esta publicación no sería posible sin el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; se agradece en particular el apoyo en las numerosas gestiones del proyecto al doctor Marcial Bonilla Marín, entonces director de Investigación Básica, quien estuvo a cargo de los proyectos de investigación de Atención a Problemas Nacionales. Un agradecimiento especial a dos dictaminadores anónimos de este texto, quienes cuidadosamente revisaron una primera versión e hicieron sugerencias que mejoran notablemente esta publicación.

Ismael Aguilar-Benitez

Coordinador

Responsable técnico del proyecto PDCPN-2014-248719

INTRODUCCIÓN

Ismael Aguilar-Benitez

Este libro se deriva de la necesidad de reflexionar sobre los usos del agua en los diferentes sectores productivos de la economía, considerando la disponibilidad limitada de este recurso y los crecientes volúmenes que esos usos demandan, así como los requerimientos de los ecosistemas para garantizar su conservación y lograr un manejo sustentable. El análisis se aborda en este trabajo comparando entre sí los casos de tres subregiones hidrológicas (en adelante SRH) de México: la SRH Río San Juan, la SRH Valle de México y la SRH Bajo Grijalva. Estos tres casos representan distintas condiciones climáticas e hidrológicas: la subregión Río San Juan, semiárida con baja disponibilidad de agua; la subregión Bajo Grijalva, semihúmeda con alta disponibilidad de agua y la subregión Valle de México, con clima templado y buen régimen de lluvia, pero con una extremadamente baja disponibilidad de agua. Además, estas SRH circunscriben tres zonas metropolitanas con alta densidad poblacional: Monterrey, Villahermosa y Ciudad de México, respectivamente.

En este libro se consideran las tres subregiones como unidades de análisis para evaluar la disponibilidad de agua y sus requerimientos para los distintos usos. De esta forma se sugieren como potenciales unidades para una mejor gestión del agua. Esto marca una diferencia con la forma en que se realiza en la práctica la administración oficial del agua en México, en la que se utilizan como unidades las regiones hidrológico-administrativas (RHA), así como las entidades político-administrativas (municipios y estados) que integran dichas regiones.

Una premisa ampliamente aceptada tanto por organismos oficiales como por la academia es que la gestión y el manejo del agua deben hacerse con base en la noción de cuenca. Esto implica la importancia de precisar la definición hidrológica pero también las delimitaciones políticas que se encuentran en una cuenca. El concepto de cuenca, a secas, se puede entender como un espacio regulatorio o administrativo –perspectiva que la administración pública del agua en México ha utilizado–, que se

asume puede utilizarse para una gestión descentralizada del agua; sin embargo, es difícil pensar que exista una escala apropiada de gestión *a priori*.

En términos conceptuales se pueden definir dos tipos de cuenca: cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica. La cuenca hidrográfica se refiere a un espacio territorial delimitado por líneas imaginarias –generadas por las partes más altas del territorio (parteaguas)– donde se distribuyen y se concentran escurrimientos de agua que forman ríos y arroyos que desembocan en un punto común llamado punto de salida de la cuenca. Ese punto de salida puede ser un lago (cuenca endorreica) o el mar (cuenca exorreica) (Cotler, Galindo, González, Pineda y Ríos, 2013). Por otro lado, la cuenca hidrológica se define como el territorio delimitado por parteaguas pero que incluye tanto el agua superficial como las fuentes de agua del subsuelo o acuíferos (Domínguez, 2015; Monterrosa, 2015).

No obstante, la idealización del concepto de cuenca, derivada de su capacidad para articular los usos aguas arriba y aguas abajo como área física natural, tiene también limitaciones para la gestión del agua debido a los conflictos con los límites políticos y administrativos que se encuentran dentro de la cuenca o que la contienen. Existen algunos intentos conceptuales que proponen que la cuenca hidrográfica sea la unidad de gestión espacial y marco de integración de los procesos que deben considerarse en el diseño y en la implementación de las políticas públicas (Burgos, Bocco y Sosa, 2015).

Esa propuesta no se limita al manejo de recursos naturales, sino que implica también los procesos sociales relacionados. Dos de los retos que implica ese enfoque son 1) la imposibilidad de conciliar límites físicos con límites políticos y 2) la integración del manejo de cuenca y sus recursos naturales con los procesos sociales en las políticas públicas, que en la práctica continúan siendo sectoriales. Como se observa en el primer capítulo, «Caracterización hidrológica de las subregiones en estudio», la delimitación de las cuencas en México es muy compleja y no existe una que sea reconocida o utilizada de forma unánime.

En 2007 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), el entonces Instituto Nacional de Ecología (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC) y la Comisión Nacional del Agua (Conagua) definieron de manera conjunta 1 471 cuencas hidrográficas. Del total, 1 389 son exorreicas, 77 endorreicas y cinco arreicas localizadas en la península de Yucatán. Por tamaño, 807 de esas cuencas tienen un área inferior a los 50 km², mientras que 16 tienen una extensión superior a los 20 000 km² (Cotler, 2010).

El agrupamiento de cuencas en las regiones hidrológicas se ha basado en criterios pragmáticos para facilitar el manejo del agua. En 2009 la Conagua publicó la división del país en 13 regiones hidrológico-administrativas, 37 regiones y 78 subregiones hidrológicas. En las 78 subregiones hidrológicas en las que oficialmente está dividida la república mexicana, se ubican 731 cuencas hidrológicas cuyos límites y disponibilidades se publican en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF)

(Conagua, 2017).¹ La Conagua sigue utilizando la clasificación de RHA como unidades espaciales para la publicación de estadísticas oficiales del agua.

En general, esa delimitación de RHA y cuencas hidrológicas en México se identifica, según algunos autores, con un sesgo político-administrativo y con un enfoque técnico-ingenieril (Cotler, 2015). La Conagua también ha clasificado las aguas subterráneas en 653 acuíferos, que no necesariamente coinciden con la delimitación de las cuencas hidrológicas, y cuyo verdadero volumen de agua es muy costoso de estimar; por lo tanto, no se conoce con certeza (Landa y Carabias, 2008).

El hecho de no contar con una única delimitación de unidades hidrológicas para implementar la gestión del agua hace necesario delimitar unidades de análisis espacial que permitan realizar el estudio y una gestión del agua apropiados, con escalas acordes con la información disponible y que posibiliten la integración sectorial (usos del agua) y la definición e implementación de políticas públicas.

Alternativamente al enfoque de gestión por cuencas como unidades *naturales*, la delimitación de unidades geográfico-espaciales para la gestión del agua puede abordarse mediante el concepto de espacio regulatorio funcional, que propone integrar la política sectorial con niveles territoriales y niveles de gobierno (Varone, Nahrath, Aubin y Gerber, 2013). Este enfoque asume la posibilidad de integración mediante negociaciones y acuerdos específicos entre los niveles de gobierno (promovidos por los interesados y los actores del agua) en ámbitos espaciales que incorporen la demarcación natural de las cuencas. Este supuesto parece viable y razonable de implementar en espacios regulatorios funcionales suficientemente amplios que incluyan las cuencas naturales de interés para esos niveles de gobierno (SRH, municipios, estados).

Una ventaja es que las SRH se encuentran definidas oficialmente y ofrecen la posibilidad de ser espacios viables de gestión, tanto desde el punto de vista de delimitación política –permiten identificar los municipios que la forman–, como hidrológica –permiten identificar las cuencas y los acuíferos que la integran–. Por lo tanto, la delimitación de las SRH se retoma de la que hace la misma Conagua (ver nota al pie 1), razón por la que no es una delimitación generada en este estudio. Esto no implica que se justifique como delimitación hidrológica, sino simplemente que se adopta dadas las ventajas analíticas de su uso para tratar de integrar el estudio de los usos del agua. Una clara limitación para el uso de las SRH como espacio regulatorio o de planeación es que pueden encontrarse diferencias en sus delimitaciones. En este libro, por ejemplo, se encontraron dos fuentes distintas para la delimitación de SRH; la primera, definida propiamente como subregiones, obtenida por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y publicada por la Conagua (2009), y la segunda, una delimitación de las cuencas hidrológicas que hace la

¹ La Conagua publicó los metadatos de esas subregiones en formato vectorial, escala 1:250000, con fecha 27 de mayo de 2009 (Conabio, 2020).

Conagua (2001) en 1998. En el capítulo 1 se presentan las diferencias para el caso de la SRH Río San Juan y sus autores optan por utilizar la delimitación de cuencas hidrológicas (Conagua, 2001). En el resto de los capítulos se utiliza la delimitación de subregiones (Conagua, 2009), pues el planteamiento original de espacio regulatorio se basa en esta delimitación.

Aunque distinta en su enfoque, ésta no es la única propuesta que se hace para reformular la manera de estudiar, planear o implementar la política hídrica en el país. Con el propósito de implementar la política hídrica planteada en la Agenda del Agua 2030, la Conagua publicó en 2012 una serie de documentos con los programas hídricos regionales por región hidrológico-administrativa en los que la unidad es la célula de planeación. La célula de planeación se definía como un conjunto de municipios que pertenecen a un solo estado dentro de los límites de una subregión hidrológica.

Como se puede observar, el criterio principal en esa propuesta es administrativo, mientras que en nuestra propuesta se optó por tomar como delimitación una escala intermedia, la subregión hidrológica. En el ámbito internacional, otro ejemplo de aplicación de una delimitación de unidad espacial distinta a la cuenca, pero que las incluye, es el concepto de demarcación hidrográfica, establecido en la Directiva Marco del Agua. Una demarcación hidrográfica delimita una zona terrestre o marina, compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas con dichas cuencas.

Es importante aclarar que en el caso de las SRH de estudio (Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva) se eligieron no por criterios de regionalización, sino porque incluyen entidades hidrológicas y políticas necesarias para el diseño de una política hídrica hipotéticamente viable para su implementación, y que también permite obtener suficiente información para un estudio apropiado de la gestión del agua por usos principales.

En suma, este libro propone reflexionar sobre cómo un enfoque de gestión que integre los diversos usos del agua en SRH, concebidas como espacios regulatorios funcionales, puede contribuir a la discusión para una gestión sustentable del agua. En particular, se enfatiza la importancia de reflexionar sobre los requerimientos de los usos productivos del agua en las distintas condiciones de disponibilidad, infraestructura y condiciones climáticas y socioeconómicas que cada región presenta.

El libro se organiza en tres secciones y nueve capítulos: la primer sección «Disponibilidad de agua en las subregiones Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva» se compone de dos capítulos. El primer capítulo, titulado «Caracterización hidrológica de las subregiones de estudio», permite identificar las características hidrológicas de las tres unidades de análisis. Cada subregión presenta diferencias en su ubicación, clasificación hidrológica, tamaño, clima, tipo de cobertura terrestre y disponibilidad de agua. En esta caracterización destaca la necesidad de realizar acciones diferenciadas en la implementación de la gestión. Así mismo sienta las bases para entender las problemáticas hídricas

específicas según la unidad, ya sea al destacar los riesgos relacionados con inundaciones o con el grado de presión sobre los recursos hídricos y su situación de disponibilidad.

En el segundo capítulo, titulado «Disponibilidad natural del agua en las subregiones de estudio», se analiza la posibilidad de estimar con la mayor certeza posible la disponibilidad del recurso hídrico utilizando herramientas analíticas y metodológicas provenientes de la geomática como ciencia integradora de otras disciplinas. El texto reporta los balances hidrológicos anuales de las tres subregiones de estudio. Para ello, los autores analizan la disponibilidad superficial y la disponibilidad subterránea de agua a escala municipal por subregión, de 2000 a 2012, mediante los procedimientos de análisis espacial (AE) y percepción remota (PR).

Enfatizan que las técnicas de análisis de imágenes satelitales y de AE tienen mayores posibilidades de capturar la variabilidad de parámetros que se utilizan para la estimación de la disponibilidad, comparados con los modelos de base física. Conocer la información sobre la disponibilidad natural es indispensable como base sobre la cual se pueden asignar los distintos usos del agua. Las estimaciones de disponibilidad presentadas en este capítulo pueden servir de base para evaluar los requerimientos de agua en los usos consuntivos presentados en capítulos posteriores, la viabilidad de cubrir esos requerimientos y mantenerlos de manera sostenible en el futuro.

La segunda sección, «Principales usos competitivos del agua en las tres subregiones de estudio», incluye cinco capítulos, en los que se analizan los principales usos del agua y el uso ecológico –los cuales compiten en cada una de las subregiones–. En el capítulo, «De la escasez a la abundancia: Panorama actual del uso agrícola del agua en tres subregiones hidrológicas de México» se estiman los volúmenes de agua que demanda el uso agrícola en las unidades de estudio, consideradas en sus distritos de riego (DR), en las unidades de riego (UR) y en los distritos de temporal tecnificado (DTT), con lo que se pueden determinar los niveles de productividad y de eficacia agronómicas.

En ese capítulo se proponen una serie de indicadores y una compilación estadística, estimada de manera específica para las regiones de estudio, buscando caracterizar y cuantificar los volúmenes de agua que demanda el uso agrícola. Además, se consideran el volumen de agua concesionado, la eficiencia de distribución y de conducción y las tarifas que se han pagado por los volúmenes consumidos. También se identifican los principales problemas que resultan en el bajo desempeño de las unidades agrícolas, como las fallas de infraestructura, la baja eficiencia de conducción y de distribución del agua de riego en los canales, el exceso de agua para el riego de los cultivos y los ingresos insuficientes para la operación y el mantenimiento; se destaca entre ellos la necesidad de promover la organización formal en aras de facilitar el monitoreo.

En el capítulo, «Un análisis de eficiencia en el uso doméstico urbano de las tres subregiones hidrológicas de estudio» se describe el uso doméstico urbano de las unidades de estudio, el cual se concentra en las áreas urbanizadas, y se identifican los

requerimientos de agua para este uso. Mediante el análisis de los distintos usos urbanos, se encuentra que existe una creciente competencia entre el uso doméstico y el uso comercial, industrial y, en algunos casos, el uso agrícola, que suele ignorar la disponibilidad natural del agua para su asignación. Una aportación particular de este capítulo es el examen de la eficiencia de los organismos que captan y suministran agua a las zonas urbanas de las unidades de estudio.

En el capítulo, «Valor económico del agua en la industria manufacturera de las tres subregiones hidrológicas de estudio» se considera la demanda de agua del sector industrial manufacturero en las subregiones de estudio. Estima el valor económico del agua para la industria manufacturera en las tres unidades mediante una función de producción y la estimación del concepto de valor del producto marginal, para identificar la creciente demanda de agua de parte de la industria de los bienes manufacturados y para determinar los impactos que la industria manufacturera tiene en cada unidad.

En el capítulo, «Uso del agua en la industria de explotación de hidrocarburos y minerales de tres subregiones hidrológicas de México» se describe el uso de agua en la producción minera y en la industria metalúrgica de las subregiones de estudio, con la finalidad de identificar el impacto en la calidad del recurso, en otros bienes y servicios ecosistémicos, y registrar los efectos en el bienestar de la sociedad. A partir de tal determinación, se podrán plantear alternativas que consideren el medio ambiente y la sociedad. La extracción y el procesamiento en la industria metalúrgica requieren grandes cantidades de agua en sus primeras etapas de producción y en la extracción; por ende, el impacto negativo de esta actividad recae sobre el medio ambiente, el suelo y el agua superficial y subterránea.

En el capítulo, «Caudal ecológico: Un análisis comparativo en tres subregiones hidrológicas de México» se evalúa el caudal ecológico en las tres unidades estudiadas, con el fin de hacer recomendaciones para recuperar la estabilidad y la integridad ecológica de los sistemas alterados. Se utiliza el método hidrológico de Tennant, que genera resultados a corto plazo, para establecer el volumen del caudal ecológico y las características del hábitat evaluado. Se concluye que de las tres unidades, la de Río San Juan presenta un incremento generalizado en la degradación de los recursos naturales y de los usos antrópicos del suelo. La del Valle de México-Río Tula tiene un caudal deficiente y, por lo tanto, no es posible recomendar nivel alguno, porque es difícil que logre el equilibrio. La del Bajo Grijalva tiene el caudal hídrico más importante del país y, a su vez, presenta poca infraestructura hídrica.

Finalmente, la tercera sección, titulada «Posibilidades de implementación del enfoque de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en las subregiones hidrológicas de estudio», se conforma por dos capítulos finales; con el propósito de identificar los alcances y las limitaciones que el modelo teórico tiene para aplicarse en las SRH de estudio. Estos capítulos complementan el análisis de los principales usos del

agua en cada subregión de estudio con una descripción de los principios y las percepciones sobre la implementación del enfoque de la GIRH. Además, dichos trabajos se proponen identificar las características, las especificidades y los retos de la implementación de la GIRH. En el capítulo «La implementación del modelo de gestión integrada de los recursos hídricos en las subregiones de estudio y sus retos en las materias institucional y legal» se examinan los arreglos normativos, tanto federales como estatales, en relación con las condiciones para la implementación exitosa en el nivel institucional de la GIRH en las tres RHA que comprenden a las subregiones de estudio.

En el capítulo, «Evaluación de la gestión integrada de los recursos hídricos: Retos y avances» se presentan las percepciones de los actores que participan en la gestión de los recursos hídricos en las RHA a las que pertenecen a las subregiones analizadas. Por medio de la aplicación y de la sistematización de entrevistas semiestructuradas a los actores involucrados en la toma de decisiones en materia de agua, se describen aspectos como la pertinencia de los arreglos institucionales, el conocimiento sobre el enfoque de la GIRH, la existencia de mecanismos de planeación, monitoreo y supervisión que apoyan la gestión, las condiciones que permiten la participación efectiva y las estrategias para garantizar la transparencia en la asignación de derechos de agua y en la toma de decisiones.

En este libro se analizan los usos del agua con mayores requerimientos de consumo y las necesidades de caudal para la conservación ecológica en tres distintos contextos hidrológicos que muestran diversas condiciones socioeconómicas. Cada uno de los capítulos del libro presenta el análisis comparativo de los tres estudios de caso a partir de un uso específico o de la viabilidad de implementación del enfoque de GIRH. Con base en ese enfoque comparativo, los autores reportan hallazgos relevantes para el análisis de la política hídrica, lo que les permitió generar una serie de recomendaciones para mejorar la gestión del agua en México.

Referencias

- Burgos, L., Bocco, G. y Sosa, J. (coords.). (2015). *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. Ciudad de México: CIGA-UNAM/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2017). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2016*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio). (2020). Portal de Geoinformación 2020. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Cotler, H. (coord.). (2010). *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. Ciudad de México: Semarnat/INE/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cotler, H. (2015). Incidencia del enfoque de cuencas en las políticas públicas de México. En L. Burgos, G. Bocco y J. Sosa (coords.), *Dimensiones sociales en el*

- manejo de cuencas* (pp. 31-43). Ciudad de México: CIGA-UNAM/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R. y Ríos, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. México: Semarnat/CECADESU/Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.
- Domínguez, R. (2015). La cuenca desde el punto de vista hidrológico. *Cuencas de México*, (1), 23-25.
- Landa, R. y Carabias, J. (2008). Los recursos hídricos y la gestión de cuencas en México. En L. Paré, D. Robinson y M. A. González (coords.), *Gestión de cuencas y servicios ambientales. Perspectivas comunitarias y ciudadanas* (pp. 23-40). México: INE/Semarnat.
- Monterrosa, G. (2015). Cuencas hidrológicas de México. *Cuencas de México*, (1), 9-12.
- Varone, F., Nahrath, S., Aubin, D. y Gerber, J. (2013). Functional regulatory spaces. *Policy Sciences*, 46(4), 311-333. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/42637286?seq=1>

Disponibilidad de agua en las subregiones
Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS SUBREGIONES DE ESTUDIO

Eugenio Gómez-Reyes / Felipe Omar Tapia-Silva

Introducción

La caracterización hidrológica del área de estudio, considerando el componente del agua, ayuda mucho en el aspecto de la gestión de los recursos hídricos en las cuencas analizadas, toda vez que permite formar criterios menos subjetivos y más precisos (por ejemplo, la disponibilidad del agua) para la asignación de actividades, funciones, formas de organización institucional de organismos de gobierno y no gubernamentales, recursos e instrumentos de política y sistemas de participación relacionados con las necesidades, problemas, situaciones y riesgos hídricos comunes. La caracterización hidrológica inicia con la ubicación geográfica del área de estudio, su morfología y sigue con los parteaguas que conforman las cuencas hidrológicas, así como la división política. Continúa con la distribución espacial de los parámetros que definen los procesos hidrológicos, por ejemplo, las variables climatológicas, geológicas, edafológicas, usos y tipo del suelo.

En seguida se presentan la magnitud y la distribución espacial de los volúmenes de agua que deben generar los procesos hidrológicos (precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración). Luego se alude a los índices que permiten integrar conceptos de manejo del recurso natural hídrico en el área de estudio, como el balance hidrológico y la disponibilidad natural del agua, para que finalmente se incorporen los volúmenes por los usos consuntivos y no consuntivos del agua y se determine el balance hidráulico y la disponibilidad del agua. A partir de lo anterior, se podrá cuantificar la problemática hídrica en el área de estudio y se podrán identificar las zonas de atención mediana y de largo plazo, para argumentar sobre las políticas públicas que permitirían solucionar o, a lo menos, mitigar la problemática hídrica.

Esencialmente, la caracterización hidrológica provee la información hídrica necesaria para diagnosticar la problemática del agua en el área de estudio. El alcance de la caracterización hidrológica está sujeto al tipo y calidad de datos disponibles. En algunas cuencas se presentan problemas para realizar una caracterización hidrológica completa debido a la escasa información de que se dispone; verbigracia, para los diferentes consumos de agua es difícil encontrar macro y micromediciones del vital líquido. Así mismo, la red de estaciones climatológicas e hidrométricas, por lo general, no es lo suficientemente densa para estimar, de manera confiable, la precipitación, la evapotranspiración ni los escurrimientos. Por otro lado, la estimación de los volúmenes de agua será tan confiable como lo sea la calidad de los datos utilizados; además, no se garantizan datos libres de errores en la medición. Por fortuna, al promediar las estimaciones anuales y mensuales de los volúmenes de agua, estos valores promedio están menos afectados por los errores de medición que los valores de los volúmenes instantáneos.

La caracterización hidrológica generalmente se realiza en el nivel de cuenca como mínimo, para comprender la problemática hídrica y contar con elementos de cerradura para efectuar los cálculos. Las cuencas son, además, los espacios geográficos donde los grupos y las comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura, y donde socializan y trabajan en función de la disponibilidad del recurso hídrico y demás recursos renovables y no renovables. La delimitación de la cuenca es una tarea complicada, porque existen varios procesos para las estimaciones de la disponibilidad del agua, y cada uno de ellos está sujeto a espacios físicos diferentes. En el caso de los procesos hidrológicos, la delimitación de la cuenca con base en el partaguas resulta una manera natural de delimitar la cuenca, porque estos procesos se dan en ese marco físico. Sin embargo, para el cálculo de los procesos internos de los usos del agua y sus retornos, la información proviene del nivel municipal.

Para comprender estas complejas y diversas relaciones, enlazadas todas por el flujo del agua, así como la gestión del agua en estas condiciones, resulta más viable agruparlas en regiones hidrológicas. Se han hecho también varias regionalizaciones de las cuencas con diferentes propósitos, por ejemplo, para sistematizar estudios hidrológicos y de calidad de agua, facilitar la administración del agua y formar los consejos de cuenca. En cada una de estas regiones hidrológicas está contenida, al menos, una cuenca y, a su vez, no existe cuenca alguna que esté en más de una región hidrológica. Si bien la regionalización es una división pragmática para facilitar el manejo del agua y la participación social, los nombres de estas regiones no corresponden a cuencas específicas, sino a conjuntos de ellas, a ríos, a porciones de estados, a regiones costeras específicas o a numerales, como el caso de las regiones hidrológico-administrativas (en adelante RHA).

En el presente libro las entidades de estudio, denominadas aquí Subregión Hidrológica Río San Juan (en adelante SRH-RSJ), Subregión Hidrológica Valle de

México (en adelante SRH-VM) y Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (en adelante SRH-BG), se eligieron no por criterios de regionalización, aunque sus delimitaciones se delinearon a partir de los parteaguas obtenidos de modelos de elevación digital y se compararon con delimitaciones existentes en la literatura, sino por el éxito en obtener la mayor información para realizar un estudio apropiado para la gestión del uso urbano y que posibilite la integración sectorial (usos) y la definición e implementación de políticas públicas; es decir, las entidades de estudio representan condiciones características: semiárida con baja disponibilidad¹ de agua, semihúmeda con alta disponibilidad y templada con buen régimen de lluvia pero con extremadamente baja disponibilidad de agua; además, estas subregiones son de las más estudiadas y, por lo tanto, con mayor información disponible.

Así mismo, circunscriben zonas metropolitanas con alta densidad poblacional, como son la Ciudad de México, Monterrey y Villahermosa (ver cuadro 1). El mapa 1 muestra la ubicación de estas entidades hidrológicas. Todas ellas drenan hacia la vertiente del golfo de México; la SRH-RSJ lo hace a través del río Bravo, así como la SRH-VM aporta al río Pánuco, mientras que la SRH-BG descarga directamente en el golfo de México. En cuanto a extensión superficial, la de Río San Juan es la de mayor tamaño (32 942 km²) y, al mismo tiempo, es la que asocia el menor número de municipios (46) de las tres entidades hidrológicas de estudio. Así mismo, la SRH-VM es la de menor área superficial (9 636 km²), pero es la que abarca el mayor número de municipios (96).

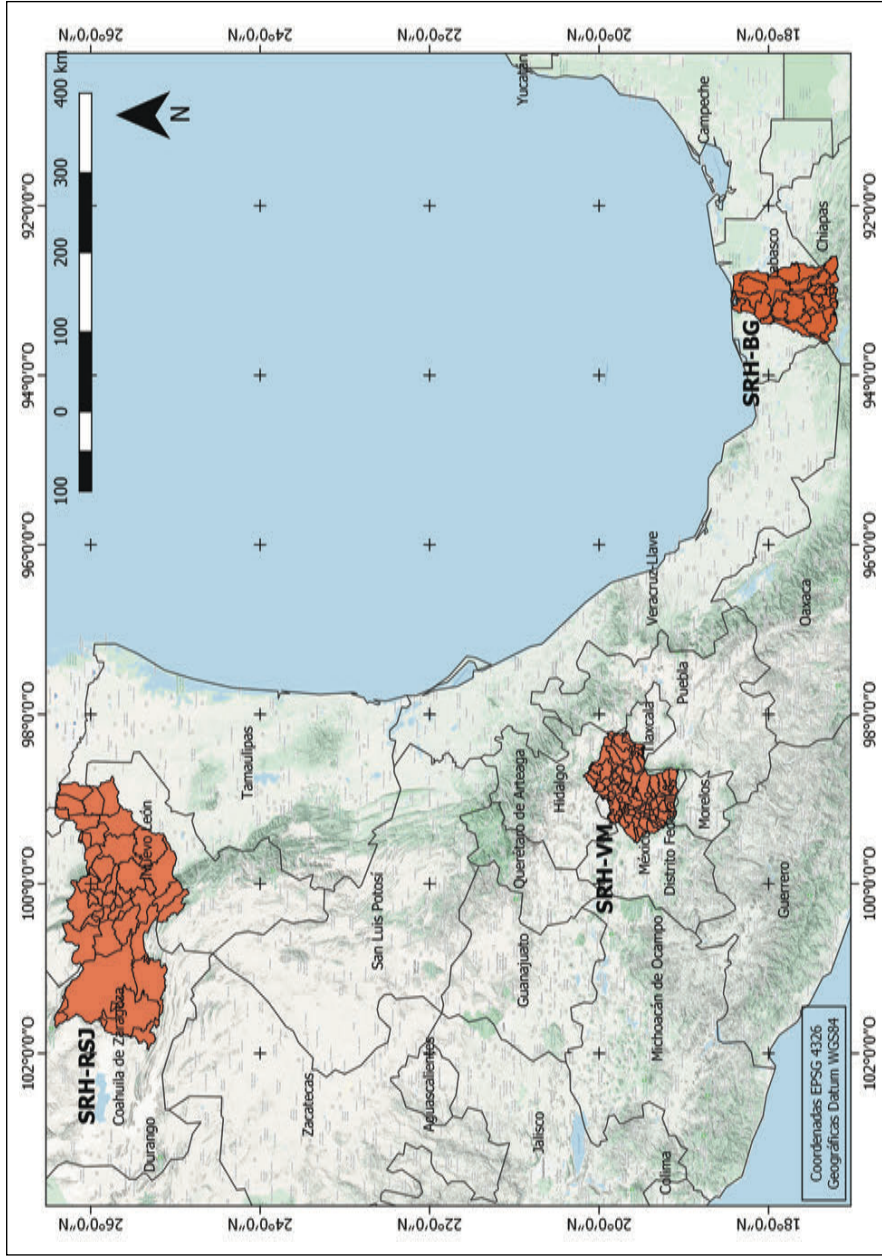
Cuadro 1. Características generales de las subregiones de estudio

<i>Características</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>
Ubicación nacional	Noreste	Centro	Sureste
Ubicación administrativa	RHA VI	RHA XIII	RHA X
Clima	Semiárido	Templado	Semihúmedo
Tamaño (km ²)	32 942	9 636	9 830
Metrópolis	Monterrey	Ciudad de México	Villahermosa
Municipios	46	96	64

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2010).

¹ Disponibilidad natural per cápita.

Mapa 1. Ubicación de las tres subregiones hidrológicas de estudio, mostrando su fragmentación municipal



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Conagua (2009).

En seguida se presenta la caracterización hidrológica de cada una de las entidades de estudio. El alcance de ésta comprende la distribución espacial de los parámetros que definen los procesos hidrológicos. Respecto a la determinación de los flujos de agua que generan los procesos hidrológicos, la magnitud y la distribución espacial de estos flujos, así como la determinación de los índices que permiten integrar conceptos de manejo del recurso natural hídrico en el área de estudio (es decir, disponibilidad natural del agua y balance hidrológico), se tratan por separado en el segundo capítulo de este libro, motivado por la presentación de una metodología de vanguardia para el cálculo de los componentes de los flujos de agua generados por los procesos hidrológicos. El cálculo de los volúmenes por los usos consuntivos y no consuntivos del agua, que completan el cálculo de la disponibilidad del agua en las áreas de estudio, se incluye en capítulos separados debido a la ambigüedad de la información que se adquiere de los municipios que comprenden las entidades hidrológicas de estudio, así como a las aproximaciones ad hoc para procesar la información y estimar los distintos usos del agua en esos municipios.

Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

La SRH-RSJ se ubica en el norte de la república mexicana, aproximadamente entre las latitudes 24.75° y 26.5° norte y las longitudes 98.75° y 101.75° oeste (ver mapa 1). Comprende una superficie física de 32 942 km² y está conformada por 36 municipios del estado de Nuevo León, siete de Coahuila y tres de Tamaulipas (ver mapa 2). Prácticamente, casi todos los municipios del estado de Nuevo León forman parte de la Subregión Hidrológica Río San Juan, y el estado de Tamaulipas está casi excluido.

La SRH-RSJ es parte de la Región Hidrológica número 24 (Bravo-Conchos) y es donde habitan casi la mitad (47.7 %) de las 9 098 185 personas de toda la Región Hidrológica Bravo-Conchos. En esta entidad hidrológica se localiza la zona metropolitana de Monterrey, la tercera ciudad más grande del país y centro industrial y generador de empleos de Río San Juan; el nivel de desempleo de uno por ciento en esta zona metropolitana es el menor de la nación. Las delimitaciones fisiográficas de la SRH-RSJ hechas por la Conagua en 2001 y 2009 son coincidentes, excepto en el extremo poniente (ver mapa 2). En este estudio utilizamos la delimitación de la Conagua de 2001, porque verificamos el trazo del parteaguas a partir del Modelo de Elevación Digital de la SRH-RSJ (Inegi, 2019) y concuerda muy bien con esta delimitación.

Un gran porcentaje de la Subregión Hidrológica Río San Juan es semiárido. Los escurrimientos no se distribuyen uniformemente y sólo pueden aprovecharse en forma irregular. Por eso se genera escasez de agua en las zonas de mayor desarrollo económico y dinámica demográfica. El abastecimiento de agua de la SRH-RSJ proviene en su mayoría de aprovechamientos superficiales (71 %) y se estima en un total de 1 964.093 millones de m³ anuales (Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos, 2011). En la SRH-RSJ el uso del suelo es variable, pero los pastizales naturales, la selva y los matorrales son los que mayor superficie representan. La agricultura de riego y temporal representa el segundo uso del suelo en importancia. Cabe mencionar que en esta entidad hidrológica se tienen decretadas áreas naturales protegidas, entre las que se encuentran: el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM) y el Monumento Natural Cerro de la Silla. Del Parque proviene la principal fuente de agua superficial y subterránea que abastece al área metropolitana de Monterrey.

En la parte de la SRH-RSJ que comprende los estados de Nuevo León y Coahuila afloran principalmente rocas sedimentarias de origen marino (depósitos clásticos y químicos de edad mesozoica); sólo hay pequeños afloramientos de rocas metamórficas y algunos de rocas ígneas intrusivas (Instituto Nacional de Ecología [INE], 2000). La geología económica del Río San Juan descansa en la explotación de minerales no metálicos y de bancos de roca caliza ubicados principalmente en la provincia de la Sierra Madre Oriental y algunas otras en la llanura costera del Golfo Norte. Por otra parte, en la porción de la SRH-RSJ que se ubica dentro del estado de Tamaulipas, las rocas sedimentarias están cubiertas parcialmente por suelos de origen aluvial (mezclas de partículas de arcilla a grava) de edad cuaternaria.

La SRH-RSJ se subdivide en ocho cuencas (ver cuadro 2): Presa Marte R. Gómez, Río Pesquería, Río San Juan, Río Salinas, Río San Miguel, Río Pilón, Río Monterrey y Río Ramos. De estas ocho cuencas, la que cubre mayor área superficial es la del río San Miguel (10 986.108 km²), ubicada en el extremo poniente de la SRH-RSJ, mientras que la de menor área es la del río Ramos (943 007 km²), al sur de la Subregión Hidrológica. Las cuencas más largas (es decir, con mayor perímetro) son, además del río San Miguel, la del Río San Juan y la del río Pesquerías. La cuenca del Río San Juan se extiende por el sur, desde el oriente hasta el centro de la SRH-RSJ, mientras que la del río Pesquerías lo hace por el norte, desde el oriente hasta el poniente, como se ilustra en los mapas de abajo.

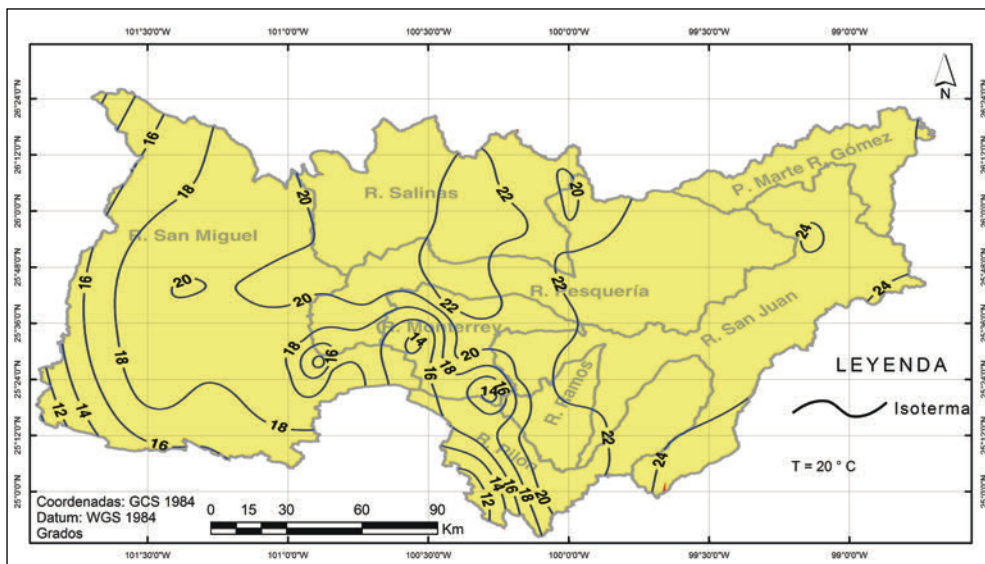
En la SRH-RSJ predominan los climas semicálido y extremoso. La temperatura media anual es de 20 °C y oscila entre los 12 °C al oeste del SRH-RSJ en las partes altas, y hasta los 24 °C en las llanuras de la parte este (ver mapa 3). La precipitación pluvial en la SRH-RSJ es en general escasa, con una precipitación media anual de 493 mm. En algunos sitios se registran lluvias anuales alrededor de los 1 000 mm (p. ej., cuenca río Ramos y parte alta de la cuenca Río San Juan). La parte poniente de la SRH-RSJ registra una precipitación media anual de 250 mm (ver mapa 4).

Cuadro 2. Características fisiográficas de las cuencas de la SRH-RSJ

Polígono	Nombre	Área (km ²)	Perímetro (km)
Subregión hidrológica	Río San Juan	32 941.597	1 371.307
Cuenca	Presa Marte R. Gómez	1 642.177	342.686
Cuenca	Río Pesquería	5 255.563	573.999
Cuenca	Río San Juan	5 530.318	785.551
Cuenca	Río Salinas	4 095.353	431.944
Cuenca	Río San Miguel	10 986.108	681.680
Cuenca	Río Pílon	2 676.105	414.018
Cuenca	Río Monterrey	1 812.967	258.199
Cuenca	Río Ramos	943.007	167.413

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019).

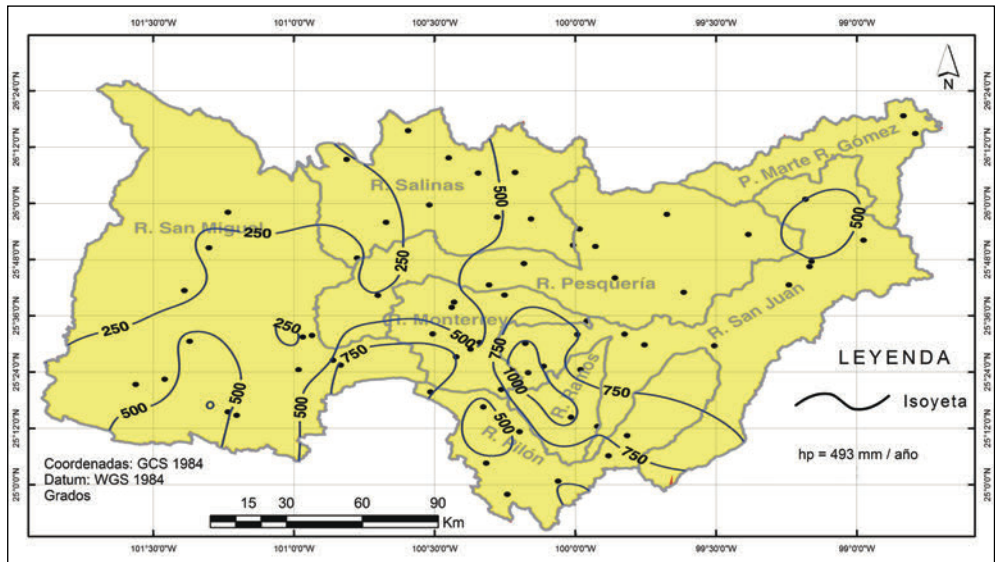
Mapa 3. Distribución de temperatura (°C) en la SRH-RSJ y las cuencas que la conforman



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

En cuanto a la evapotranspiración, calculada como la que se produce bajo condiciones reales de humedad del suelo y de cobertura vegetal, es decir, evapotranspiración real (ETR), la superficie de la SRH-RSJ genera una lámina promedio anual acumulada de recarga a la atmósfera de 424 mm (ver mapa 5). Las tasas de evapotranspiración se concentran en la cuenca del río Ramos y en la parte alta de la cuenca del Río San Juan, aumentando desde los 200 mm al año en la periferia, hasta los 800 mm al año en la región de concentración.

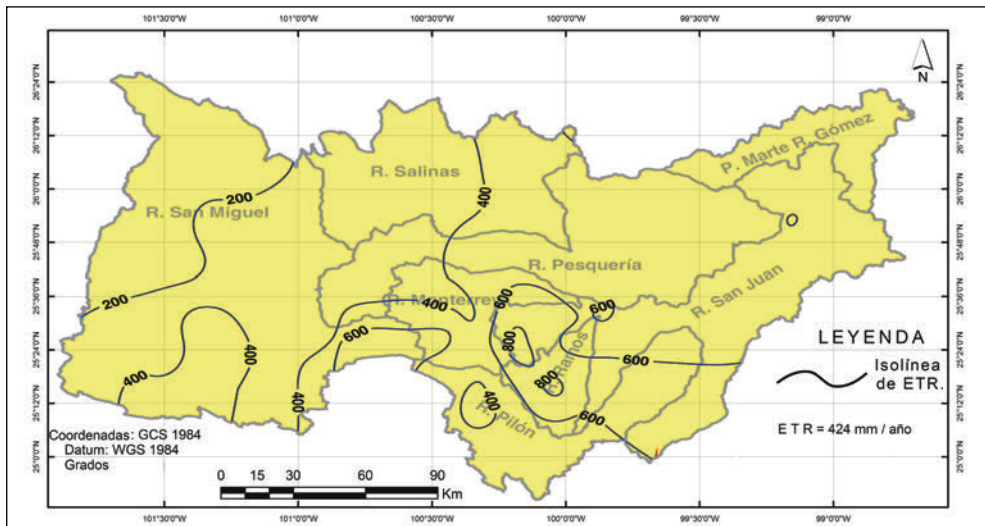
Mapa 4. Distribución de lluvias (mm/año) en la SRH-RSJ.
Ubicación de las estaciones climatológicas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

Las características climatológicas de la SRH-RSJ y las cuencas que la conforman, se resumen en el cuadro 3. La cuenca con menor precipitación pluvial (322.4 mm al año) es la del río San Miguel, al oeste del Río San Juan, mientras que la de mayor precipitación (844.6 mm/año) es la del río Ramos, al sureste del Río San Juan. Así mismo, estas cuencas son las de aportes extremos de humedad a la atmósfera, 281.1 mm/año de evaporación media anual para la cuenca del río San Miguel y 670.9 mm/año para la del río Ramos.

Mapa 5. Evapotranspiración (mm/año) en la SRH-RSJ



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

Cuadro 3. Características climatológicas de las cuencas de la SRH-RSJ

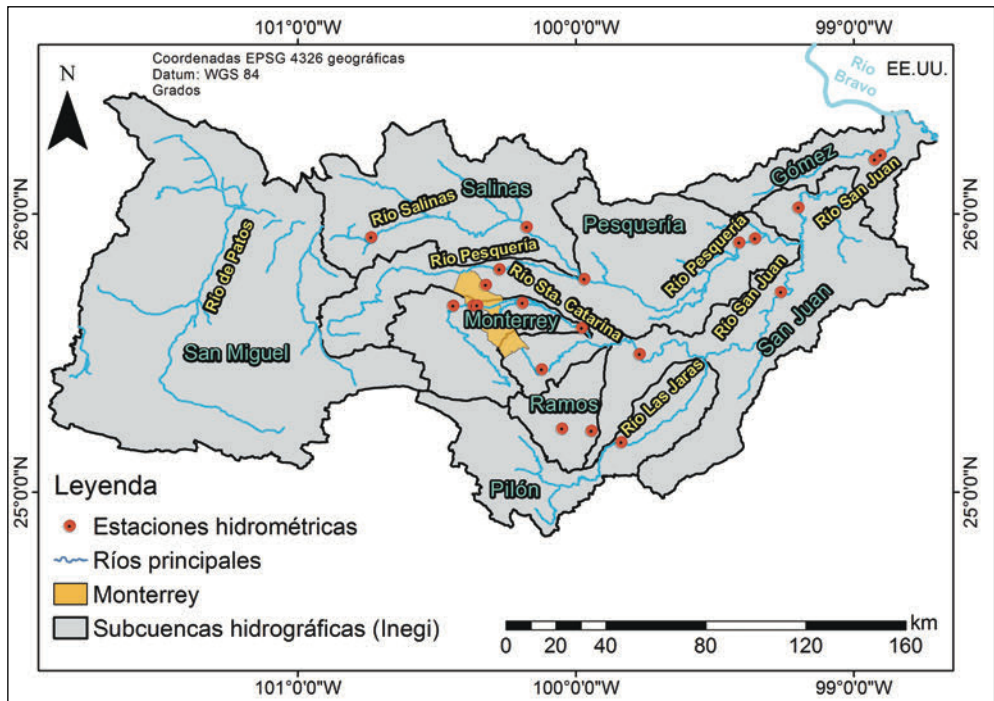
Polígono	Nombre	h_p (mm/año)	T (°C)	ETR (mm/año)
Subregión hidrológica	Río San Juan	493.4	20.3	424
Cuenca	Presa Marte R. Gómez	587.1	23.1	513.7
Cuenca	Río Pesquería	554.9	21.9	483.7
Cuenca	Río San Juan	652.8	23.1	559.9
Cuenca	Río Salinas	399.2	21.2	359.4
Cuenca	Río San Miguel	322.4	17.9	281.1
Cuenca	Río Pilón	631.4	19.3	522.2
Cuenca	Río Monterrey	607.5	18.7	493.8
Cuenca	Río Ramos	844.6	21.2	670.9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2010).

La corriente principal de la SRH-RSJ es el Río San Juan, segundo afluente de importancia del río Bravo. Tiene como tributarios a los ríos Pesquería, Santa Catarina, Ramos y Pilón. A su vez, el río Salinas es tributario del río Pesquería (ver mapa 6). El Río San Juan se origina en el arroyo La Chueca (sureste de Monterrey). Al recibir otros afluentes de varios pequeños arroyos perennes que bajan de la Sierra Madre Oriental, fluye a la presa La Boca (Rodrigo Gómez). Posteriormente continúa en

dirección hacia el oriente, donde confluye el río Santa Catarina. Más adelante convergen los ríos Ramos y Pílon. De esta manera, sus aguas alimentan las presas El Cuchillo y El Azúcar (Marte R. Gómez) en Tamaulipas. Finalmente, desemboca en el río Bravo no sin antes unirse con el río Pesquería. La presa El Cuchillo es una de las fuentes de abastecimiento de agua del área metropolitana de Monterrey. La presa El Azúcar tiene una capacidad de 1 080 millones de metros cúbicos, que son utilizados para el riego de 75 000 ha en el distrito de riego del bajo Río San Juan. Fue construida para la regulación de las avenidas y la dotación de agua potable a la ciudad de Reynosa, Tamaulipas.

Mapa 6. Red fluvial de la SRH-RSJ



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019a).

En su origen el río Salinas (Coahuila) recibe el nombre de río San Miguel y transporta caudales importantes en época de lluvias (i.e., es de tipo intermitente). Continúa su flujo hacia el estado de Nuevo León, por la periferia norte de Monterrey, donde recibe el nombre de río Salinas y ahí recibe las aportaciones de los arroyos Gomas y Picacho, por su margen izquierda, hasta dejar sus aguas en el río Pesquería.

Por su parte, el río Pesquería, también de origen coahuilense, atraviesa los municipios conurbados del norte de Monterrey y lleva sus aguas al Río San Juan.

El río Santa Catarina nace en la sierra, cerca de los límites de Coahuila. Atraviesa por el centro de la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey. Ahí recibe descargas de aguas residuales domésticas e industriales. Sigue su trayectoria hacia el oriente, donde recibe por su margen derecha la aportación del río La Silla. Finalmente, fluye hacia el sureste y desemboca por la margen izquierda del Río San Juan.

El río Ramos se origina en el cañón de Las Adjuntas, en la sierra de La Cebolla de la gran Sierra Madre Oriental. Su trayecto inicial es hacia el sureste y cambia su recorrido hacia el oriente y finalmente hacia el norte. Desemboca en el Río San Juan por la margen derecha a unos tres kilómetros aguas abajo de la confluencia del río Santa Catarina. Por otra parte, el río Pílon nace en la sierra La Pinta del interior de la Sierra Madre. Baja a la llanura del sureste (región citrícola) hasta desembocar en el Río San Juan por la margen derecha. Otro afluente del Río San Juan es el arroyo Mohínos, que sigue la misma dirección que el río Pílon en la banda sur.

La SRH-RSJ cuenta con estaciones hidrométricas para medir el gasto en los cauces de los ríos (ver mapa 6). Todos los principales ríos cuentan con al menos una estación hidrométrica: Río San Juan (El Cuchillo y Los Aldamas), río Salinas (Ciénega de Flores), río Pesquería (Herrera III), río Santa Catarina (Cadereyta), río Ramos (Paraíso) y río Pílon (Montemorelos). Con esta red hidrométrica es posible conocer la aportación de cada río tributario al Río San Juan, así como el gasto total de éste, que se vierte al Bravo. El cuadro 4 detalla las características de las estaciones hidrométricas ubicadas en la red fluvial de la SRH-RSJ.

Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM)

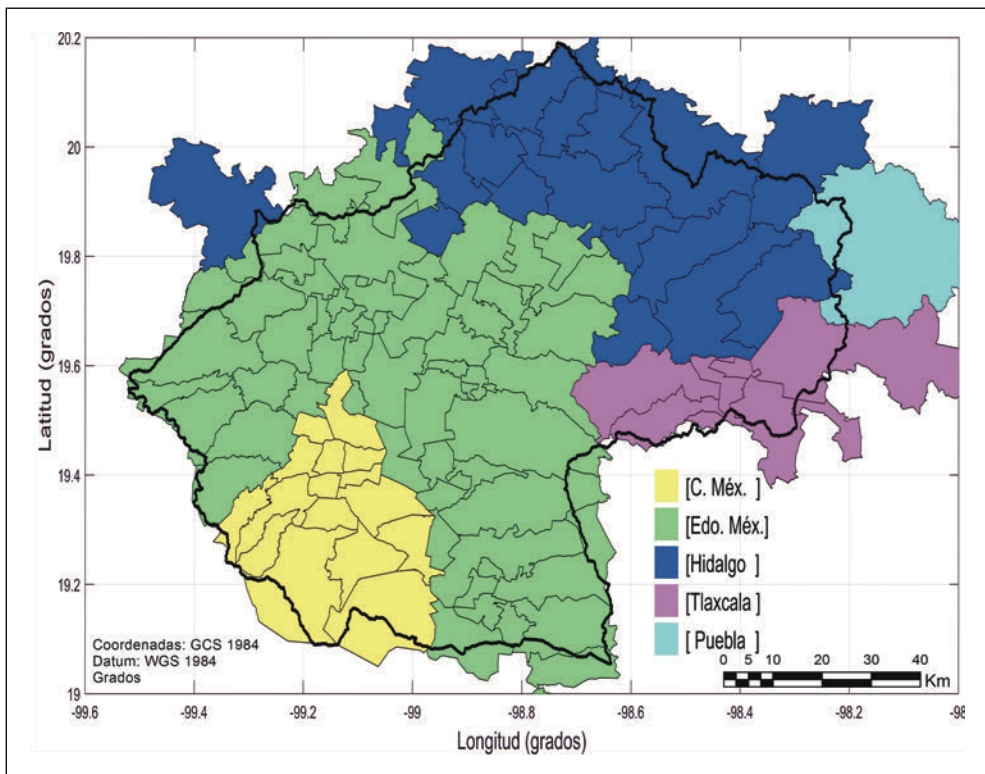
La SRH-VM se ubica en el centro de la república mexicana, aproximadamente entre las latitudes 19° 03' 14" y 20° 11' 25" norte y las longitudes 98° 11' 42" y 99° 31' 17" oeste (ver mapa 1). Comprende una superficie física de 9 636 km² y está conformada por las 16 alcaldías de la Ciudad de México (C. Méx.), 54 municipios del Estado de México, 18 de Hidalgo, 7 de Tlaxcala y 1 de Puebla (ver mapa 7). Prácticamente toda la Ciudad de México está dentro de la SRH-VM, y el estado de Puebla está casi excluido. En esta cuenca se localiza la zona metropolitana de la Ciudad de México, donde habita la mayor concentración humana del país (cerca de 25 millones de personas) y donde se genera 25.4 por ciento del producto interno bruto (PIB) nacional (Morales-Novelo, 2011).

Cuadro 4. Estaciones hidrométricas localizadas en la SRH-RSJ

Núm.	Estación	Nombre	Coordenadas (De 1928 a-1981)		Gastos promedio (m ³ /s)
			Longitud	Latitud	
Río Salinas					
81	24291	Icamole	100° 44' 00"	25° 55' 00"	0.985
2	24087	Ciénega de Flores	100° 10' 25"	25° 57' 15"	2.141
Río Pesquería					
1	24380	Túnel Topo Chico	100° 19' 15"	25° 44' 45"	1.093
2	24399	Canadá	100° 16' 18"	25° 48' 06"	1.113
3	24326	La Arena	99° 58' 00"	25° 46' 00"	3.429
4	24196	Los Herreras	99° 21' 05"	25° 54' 45"	4.777
5	24383	Los Herreras III	99° 24' 30"	25° 53' 50"	5.269
Río Santa Catarina					
1	24384	Monterrey II	100° 21' 06"	25° 40' 18"	0.009
2	24198	Monterrey	100° 22' 00"	25° 40' 15"	0.207
3	24304	Parshall Huasteca	100° 26' 15"	25° 40' 15"	1.475
4	24387	Los Lermas	100° 11' 18"	25° 40' 48"	1.972
5	24327	Cadereyta II	99° 58' 30"	25° 35' 25"	4.219
Río Ramos					
1	24385	Calles (Congregación)	99° 56' 24"	25° 13' 12"	1.473
2	24283	Paraíso	100° 02' 45"	25° 13' 40"	2.065
Río Pílon					
1	24192	Montemorelos	99° 50' 00"	25° 10' 45"	4.212
Río San Juan					
1	24271	La Boca	100° 07' 10"	25° 26' 30"	1.472
2	24301	Tepehuaje	99° 46' 00"	25° 29' 45"	12.016
3	24088	El Cuchillo	99° 15' 30"	25° 43' 10"	21.169
4	24351	Los Aldamas	99° 11' 45"	26° 01' 25"	28.643
5	24222	Km 0+700	98° 55' 15"	26° 11' 45"	14.413
6	24361	Filtraciones presa Marte R. Gómez	98° 54' 00"	26° 12' 48"	0.045

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Conagua (2019a).

Mapa 7. Alcaldías y municipios que conforman la SRH-VM



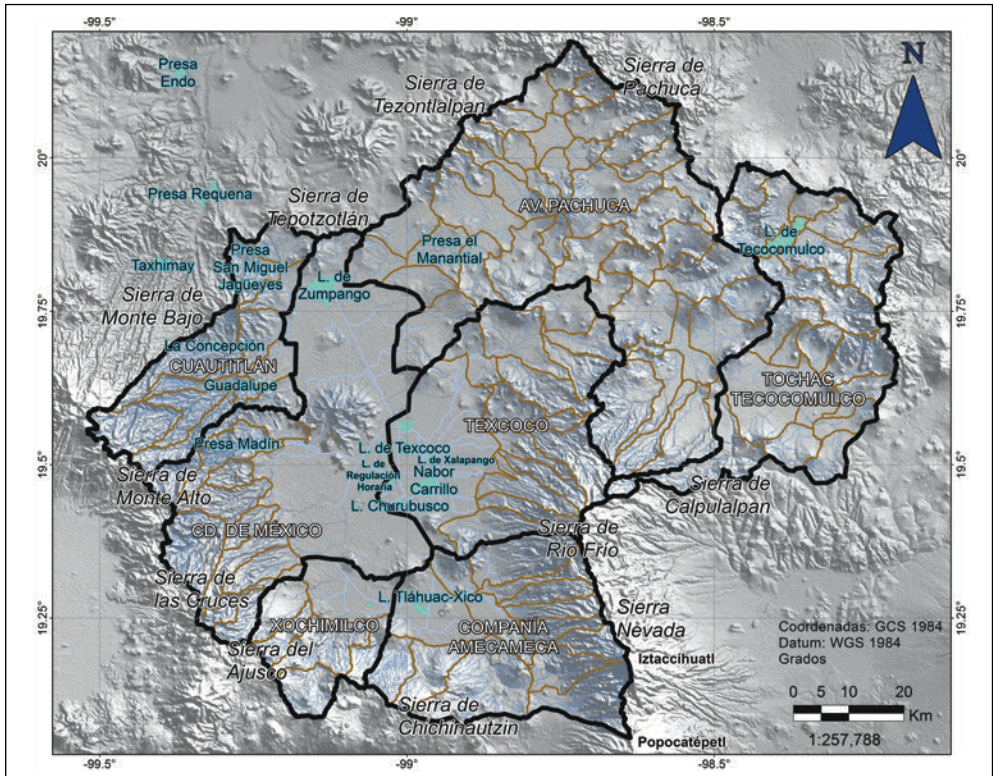
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2018).

La Ciudad de México es el centro cultural, económico e industrial de la república mexicana donde se albergan casi todas las oficinas de gobierno, los centros de negocios nacionales e internacionales, las actividades culturales, las universidades y los institutos de investigación más importantes. El abastecimiento de agua a la ciudad representa una gran problemática hídrica en la cuenca, toda vez que se presenta un déficit absoluto del recurso, la extracción de los mantos acuíferos se excede en el doble de su recarga, el tratamiento de las aguas residuales es escaso y la dificultad de los conflictos sociales que se presentan con el aumento de la importación de agua de otras cuencas (Gómez-Reyes, 2009; Montero-Contreras, Gómez-Reyes, Carrillo-González y Rodríguez-Tapia, 2009; Perló-Cohen y González-Reynoso, 2009).

La SRH-VM es una cuenca endorreica de carácter lacustre situada en medio del Eje Neovolcánico Transversal Mexicano, aproximadamente a 2 400 metros sobre el nivel del mar. Forma parte de la Región Hidrológica del río Pánuco, colocada en lo

más alto. Alcanza alturas superiores a los 5 000 metros. Está rodeada de sierras: al norte, la sierra de Pachuca; al oriente, las sierras de Calpulalpan y la sierra Nevada con sus volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl; al sur, la sierra del Chichinautzin; y al poniente, la sierra de Las Cruces (ver mapa 8). Pertenecen a esta cuenca varias formaciones geológicas, entre las que se encuentran las sierras Guadalupe, Lacustre, Tarango, Basaltos y Las Cruces, que le imprimen su propio carácter de permeabilidad al suelo (Mooser, Montiel y Zúñiga, 1996).

Mapa 8. Morfología de la SRH-VM y sus subcuencas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019).

Dentro de la SRH-VM la vegetación es poco variada debido al crecimiento de la urbanización. Hacia el sureste de la cuenca hay bosques con vegetación secundaria arbustiva, pastizal inducido y agricultura de humedad. Hacia el este se da la agricultura de riego y cultivos semipermanentes, bosques, cultivos anuales, praderas de alta montaña y una parte de suelos erosionados; el noreste exhibe una agricultura de riego, cultivos semipermanentes, cultivos de agricultura anual, matorral, pastizal

inducido y también erosión; al noroeste presenta agricultura de temporal con cultivos anuales y pastizal inducido; al suroeste tenemos bosques, agricultura de temporal, agricultura de humedad y, asimismo, pastizal inducido (Inegi, 2010).

La SRH-VM se subdivide en siete subcuencas (ver cuadro 5): Amecameca-La Compañía, Xochimilco, Ciudad de México, Cuautitlán, Texcoco, Tochac-Tecocomulco y Avenida de Pachuca. De estas siete subcuencas, la que cubre mayor área superficial es la de Avenida de Pachuca (2 660.813 km²), localizada al norte de la SRH-VM, mientras que la de menor área es Xochimilco (478.341 km²), ubicada al sur. Las subcuencas más largas, correspondientes a su mayor perímetro, son la de Ciudad de México y la de Avenida de Pachuca. La subcuenca de la Ciudad de México se extiende desde el sur hasta el centro, por la margen poniente de la SRH-VM, mientras que la subcuenca de la Avenida de Pachuca se mantiene al norte de la SRH-VM. Las subcuencas de Cuautitlán y la de Tochac-Tecocomulco se localizan en los extremos poniente y oriente, respectivamente (ver mapa 8).

Cuadro 5. Características fisiográficas de las subcuencas de la SRH-VM

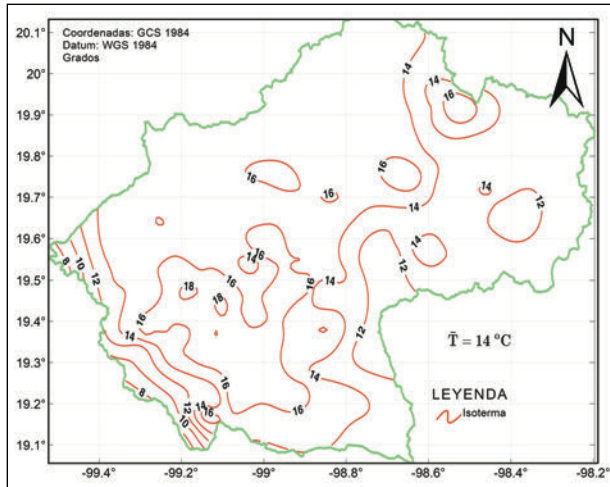
<i>Polígono</i>	<i>Nombre</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Perímetro (km)</i>
Cuenca	Valle de México	9 635.578	604.356
Subcuenca	Amecameca-La Compañía	1 185.247	157.479
Subcuenca	Xochimilco	478.341	105.987
Subcuenca	Ciudad de México	1 886.339	293.846
Subcuenca	Cuautitlán	752.422	181.130
Subcuenca	Texcoco	1 384.000	183.505
Subcuenca	Tochac-Tecocomulco	1 288.416	262.963
Subcuenca	Avenida de Pachuca	2 660.813	329.350

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Inegi (2019).

Por su localización geográfica, la cuenca del Valle de México queda comprendida en la faja de clima tropical lluvioso pero, debido a sus altitudes, su clima varía desde seco y extremoso, en el noreste, hasta húmedo y frío en las regiones montañosas del sur de la cuenca (Inegi, 2010). La temperatura media anual es de 14 °C y oscila entre los 12 °C, en las partes altas, hasta los 18 °C en la parte norte (ver mapa 9). La cuenca recibe la influencia de corrientes de aire húmedo marítimo del golfo de México y corrientes de aire seco y caliente provenientes de las zonas del noroeste de la altiplanicie mexicana; el régimen pluvial del Valle de México se deriva de la influencia directa de huracanes y ciclones del golfo de México y del océano Pacífico (Secretaría de Medio Ambiente, 2001). Las cordilleras que rodean el valle actúan como condensadores: producen lluvias orográficas desde mediados de mayo hasta

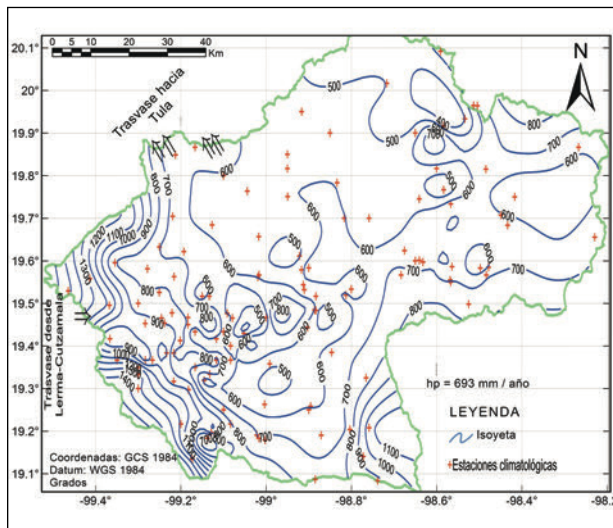
mediados de octubre. Su precipitación media anual es de 693 mm (ver mapa 10) y oscila entre poco menos de 500 milímetros en la zona norte y más de 1 000 milímetros en la sierra del Chichinautzi y en la sierra Nevada.

Mapa 9. Distribución de temperatura (°C) en la SRH-VM



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

Mapa 10. Distribución de lluvias (mm/año) en la SRH-VM

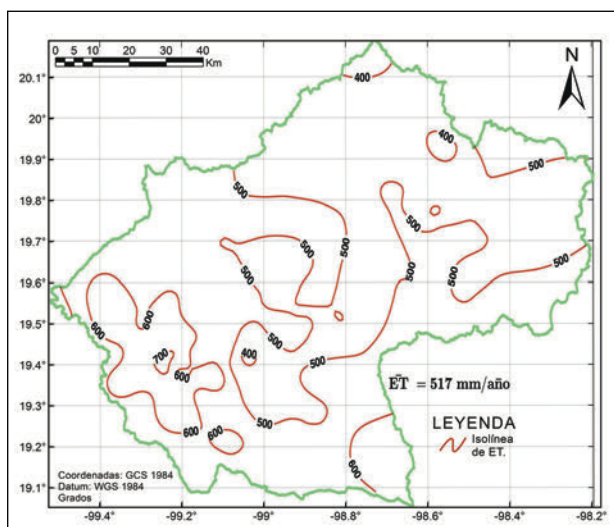


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

En cuanto a la evapotranspiración real, la superficie de la SRH-VM genera una lámina promedio anual acumulada de recarga a la atmósfera de 517 mm (ver mapa 11). Las tasas de evapotranspiración aumentan de norte (400 mm/año) a sur (600 mm/año).

Las características climatológicas de la SRH-VM y sus subcuencas se resumen en el cuadro 6. La subcuenca con menor precipitación pluvial (554.8 mm/año) es Avenida de Pachuca, al extremo norte de la cuenca, mientras que la de mayor precipitación (942.4 mm/año) es Cuautitlán, al poniente de la cuenca. Por otra parte, la subcuenca con menor aporte de humedad a la atmósfera (470.6 mm/año) es también Avenida de Pachuca, mientras que la de mayor tasa de evapotranspiración (568.5 mm/año) es Xochimilco.

Mapa 11. Evapotranspiración (mm/año) en la SRH-VM



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019).

Cuadro 6. Características climatológicas de las subcuencas de la SRH-VM

Polígono	Nombre	bp (mm/año)	ETR (mm/año)
Cuenca	Valle de México	693	517
Subcuenca	Amecameca-La Compañía	780.8	560.6
Subcuenca	Xochimilco	890.8	568.5
Subcuenca	Ciudad de México	765.5	556.4
Subcuenca	Cuautitlán	942.4	561.8
Subcuenca	Texcoco	606.9	490.3
Subcuenca	Tochac-Tecomulco	667.5	501.7
Subcuenca	Avenida de Pachuca	554.8	470.6

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2010).

La hidrografía la constituyen 45 ríos, ocho lagos y tres manantiales alrededor de la ciudad (ver mapa 8). El agua de deshielo de las partes más altas de algunos volcanes que desciende en forma permanente, junto con los manantiales en las parte altas y medias de las montañas, forman 13 ríos perennes: Magdalena, Santo Desierto-Mixcoac, Tacubaya, Tlalnepantla, Hondo, San Idelfonso, San Pedro, La Colmena, Cuautitlán, Tepotzotlán, Ameca, San Rafael y Texcoco-Aculco; los otros 32 ríos son temporales, formados de mayo a octubre durante las lluvias (Legorreta, 2009).

Entre los lagos más importantes destacan: Zumpango, Guadalupe, Madín, Chalco y Nabor Carrillo; en la parte oriental de la cuenca existen otros lagos, como Tochac, Apán y Tecocomulco. Respecto a los manantiales de donde brota agua limpia todo el tiempo, hay que mencionar Fuentes Brotantes, Santa Fe y Peña Pobre. A lo largo de varios milenios, el deshielo y la lluvia crearon en el valle un sistema complejo lacustre local de tipo endorreico de 1 575 km² de extensión. A principios del siglo XVII se decidió drenarlo para evitar inundaciones, por lo que paulatinamente el sistema lacustre se ha ido desecando; en la actualidad sólo quedan poco más de 13 km² de cobertura de los lagos (Legorreta, 2006).

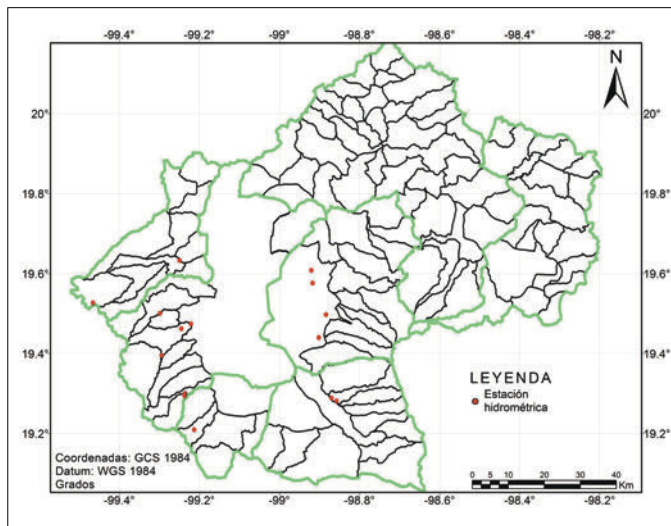
La SRH-VM cuenta con estaciones hidrométricas para medir el gasto en los cauces de los ríos (ver mapa 12). Las subcuencas Ciudad de México y Texcoco tienen mejor cobertura de monitoreo (5 y 4 estaciones hidrométrica, respectivamente) que las otras subcuencas, especialmente las de Avenida de Pachuca y Tochac-Tecocomulco, que no cuentan con ninguna estación hidrométrica. El cuadro 7 detalla las características de las estaciones hidrométricas ubicadas en la SRH-VM. Las estaciones Río de los Remedios y Río Cuautitlán miden los gastos más altos, correspondientes a las salidas de las subcuencas Ciudad de México (4.431 m³/s) y Cuautitlán (2.632 m³/s), respectivamente. Las demás estaciones monitorean el gasto de las salidas de microcuencas individuales y no excedente en más de 1 m³/s.

La zona de la planicie está formada por ríos, arroyos, lagunas y, en su parte más baja, por pantanos, mientras que en la parte alta de la cuenca existe, en su lado oeste, la presa Peñitas, que forma parte de un sistema de presas que se originan en la cuenca vecina del sur y que, además de regular los escurrimientos, tiene otros fines (generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua y recreación, entre otros): Malpaso, Angostura, Chicoasén y Peñitas. Estas presas constituyen el sistema hidroeléctrico más importante del país (Comisión Federal de Electricidad [CFE], 1999).

La planicie de la SRH-BG está cubierta por seis tipos de asociaciones vegetales (West, Psuty y Thom, 1985): selva tropical lluviosa, sabana tropical, selva mediana y baja, formaciones bajas propias de la playa, selva de mangles y vegetación de pantano. La diversa vegetación existente en la planicie es un claro reflejo de las condiciones climáticas de adaptación y de alteraciones causadas por el hombre; a pesar de ello, la vegetación que sobrevive es exuberante y rica. La selva tropical lluviosa cubría

la planicie casi por completo, pero ahora ha sido destruida por la mano del hombre mediante la tumba y la quema para preparar la tierra como campo de cultivo o pastizales para la ganadería, y se ha convertido en parte de la sabana tropical.

Mapa 12. Delimitación de microcuencas de la SRH-VM. Se muestra la ubicación de las estaciones hidrométricas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019a).

Cuadro 7. Estaciones hidrométricas localizadas en la SRH-VM

Núm.	Estación	Nombre	Coordenadas		Gastos promedio (De 1975 a 1990) (m ³ /s)
			Longitud	Latitud	
Subcuenca Amecameca-La Compañía					
1	26275	Río de la Compañía	-98°51'25"	19°17'05"	0.200
2	26276	Río San Francisco	-98°52'10"	19°17'30"	0.049
Subcuenca Ciudad de México					
1	26440	Río Magdalena	-99°14'10"	19°18'10"	0.512
2	26458	Río Hondo	-99°17'36"	19°23'54"	0.899
3	26057	Río Totolica	-99°14'40"	19°27'55"	0.215
4	26273	Río El Sifón	-99°17'53"	19°30'11"	0.132
5	26032	Río de los Remedios	-99°13'15"	19°28'39"	4.431

(continúa)

(continuación)

Núm.	Estación	Nombre	Coordenadas		Gastos promedio (De 1975 a 1990) (m ³ /s)
			Longitud	Latitud	
Subcuenca Cuautitlán					
1	26457	Río San Idelfonso	-99°27'54"	19°31'45"	0.207
2	26056	Río Cuautitlán	-99°12'45"	19°12'45"	3.896
Subcuenca Texcoco					
1	26195	Río Santa Mónica	-98°54'05"	19°26'35"	0.031
2	26071	Río San Lorenzo	-98°52'59"	19°30'02"	0.02
3	26193	Río Papalotla	-98°55'00"	19°34'45"	0.144
4	26194	Río San Juan Teotihuacán	-98°55'13"	19°36'41"	0.074

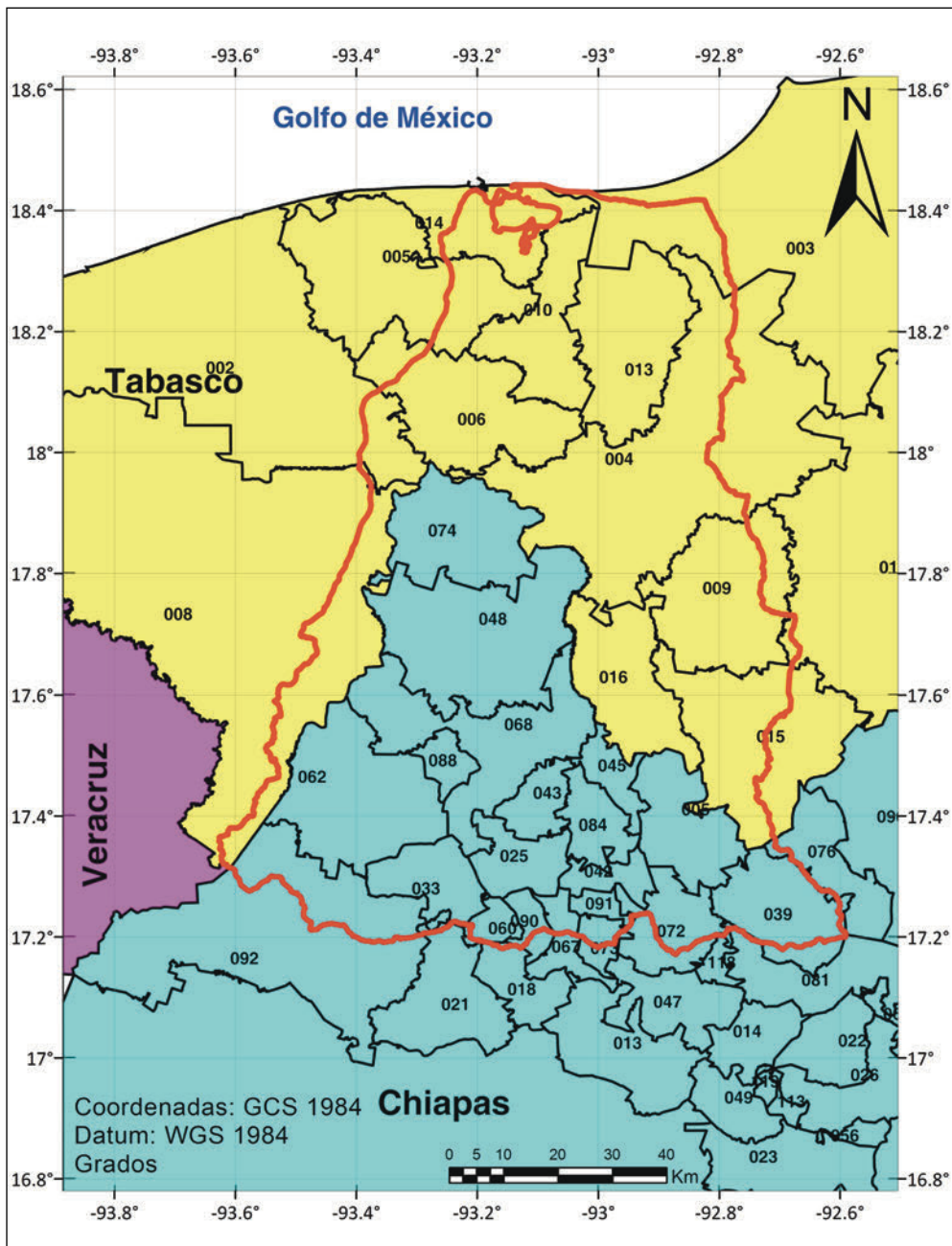
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Conagua (2019a).

Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)

La Subregión Hidrológica Bajo Grijalva se ubica en el sureste de la república mexicana, aproximadamente entre las latitudes 16.8° y 18.6° norte y las longitudes 91.75° y 93.6° oeste (ver mapa 1). Comprende una superficie física de 9 830 km² y está conformada por 12 municipios del estado de Tabasco y 20 del estado de Chiapas (ver mapa 13). Prácticamente incluye todos los municipios del este del estado de Tabasco y del norte de Chiapas. En esta Subregión Hidrológica (SRH) está ubicada la zona de alta influencia de eventos extremos del tipo hidrometeorológico y confluye el sistema fluvial más grande del país: Grijalva-Usumacinta. El gasto de escurrimiento de sus ríos es el mayor de las corrientes fluviales de la república mexicana, del orden de los 3 663.62 m³/s en promedio anual (Conagua, 2015). Las planicies de esta SRH están sujetas a inundaciones recurrentes por el efecto del escurrimiento superficial generado por las intensas lluvias, principalmente por el sistema fluvial del río de la Sierra, que no cuenta con ningún control de avenidas (Organización Meteorológica Mundial [OMM] y Global Water Partnership [GWP], 2006).

La SRH-BG se subdivide en 15 cuencas (ver cuadro 8). De estas 15 cuencas, las que cubren un área superficial mayor a los 1 000 km² son: Pichucalco, Mezcalapa, El Carrizal y de la Sierra. Estas cuencas son también las más largas (es decir, que poseen el mayor perímetro) y se extienden de sur a norte, desde la parte alta del parteaguas de la SRH Bajo Grijalva hasta el inicio de la planicie costera, excepto por la cuenca del Carrizal, que inicia en la planicie y llega hasta el litoral costero, como se ilustra en los mapas siguientes.

Mapa 13. Municipios que conforman la SRH-BG



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2018).

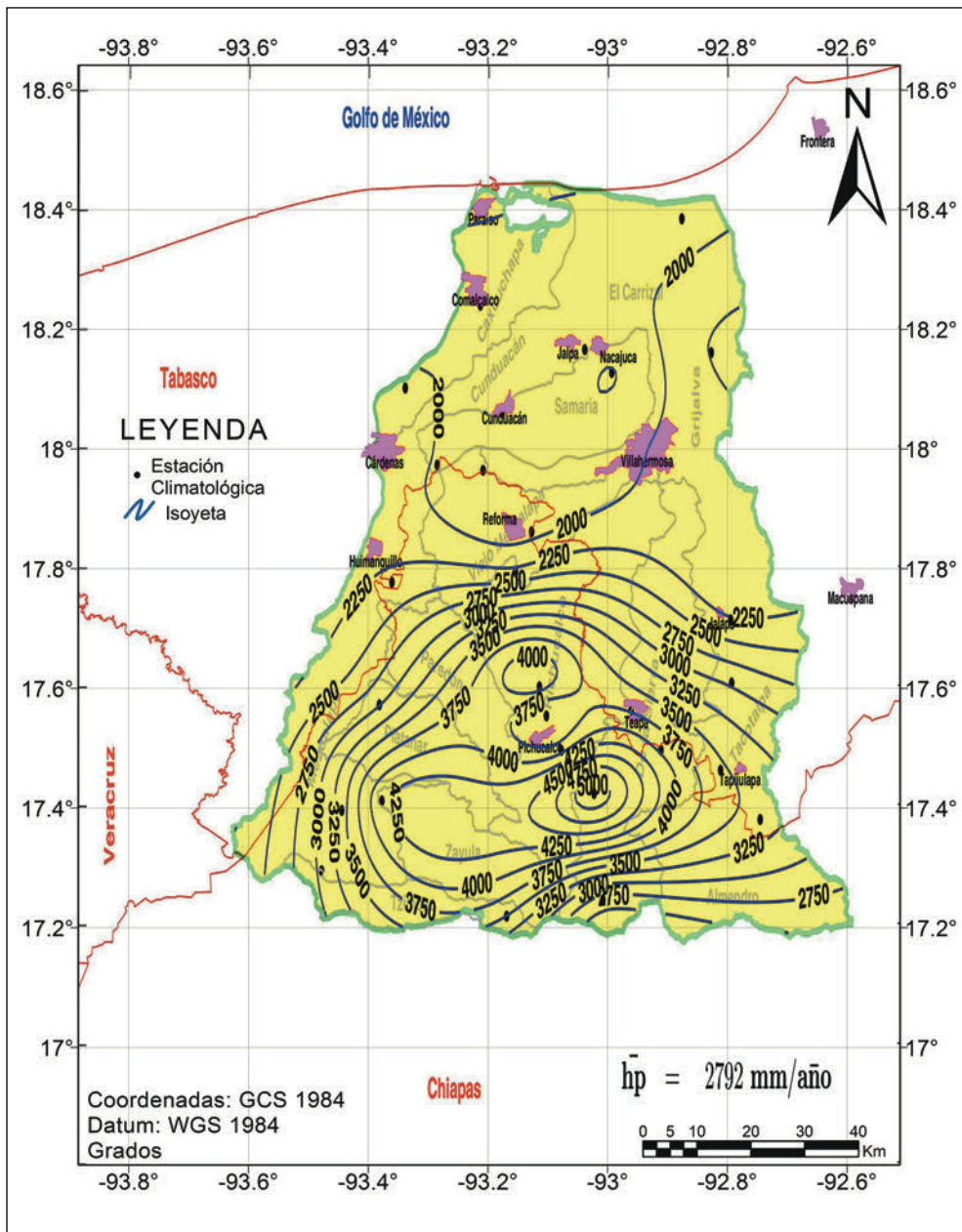
Cuadro 8. Características fisiográficas de las cuencas de la SRH-BG

<i>Polígono</i>	<i>Nombre</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Perímetro (km)</i>
Subregión Hidrológica	Bajo Grijalva	22 805.974	973.44
Cuenca	Grijalva	1 925.338	465.39
Cuenca	Viejo Mezcalapa	566.133	165.216
Cuenca	Mezcalapa	1 281.883	352.899
Cuenca	Tzimbac	252.498	127.696
Cuenca	Zayula	419.923	119.412
Cuenca	Platanar	399.92	129.972
Cuenca	Paredón	381.972	118.027
Cuenca	Pichucalco	1 314.231	260.809
Cuenca	De la Sierra	1 073.572	267.354
Cuenca	Tacotalpa	514.582	172.025
Cuenca	Almendro	1 042.850	174.681
Cuenca	De los Plátanos	611.274	139.128
Cuenca	Chacté	1 490.612	218.526
Cuenca	Puxcatán	674.353	184.928
Cuenca	Macuspana	1 179.216	228.724
Cuenca	Shumulá	1 006.949	192.282
Cuenca	Yashijá	565.826	155.483
Cuenca	Tulijá	1 699.444	338.044
Cuenca	Bascá	439.038	124.948
Cuenca	Chilapa	2 172.774	253.89
Cuenca	Chilapilla	685.624	152.134
Cuenca	Tabasquillo	251.25	82.016
Cuenca	El Carrizal	1 165.688	267.058
Cuenca	Samaria	549.019	127.733
Cuenca	Cunduacán	508.236	193.011
Cuenca	Caxcuchapa	633.767	158.206

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019).

La temporada de lluvias en la SRH-BG abarca ocho meses que van de julio a marzo, aproximadamente. Por su localización geográfica, de julio a noviembre ciclones tropicales afectan la zona y, de diciembre a marzo, los frentes fríos producen lluvias anuales del orden de 2 750 mm en la zona costera y hasta de 4 000 mm en las estribaciones de las sierras, con intensidades de hasta 300 mm en 24 horas, de las mayores a escala mundial, y más de cuatro veces de lo que llueve en el Valle de México (ver mapa 14).

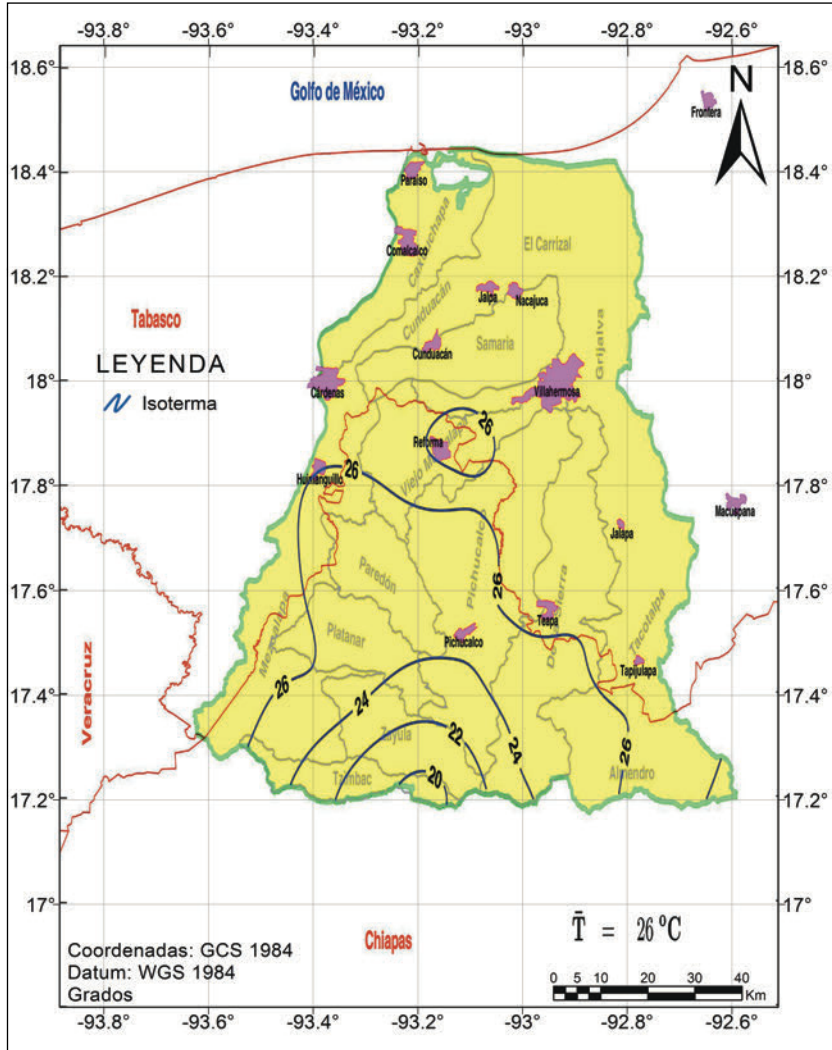
Mapa 14. Distribución de lluvias (mm/año) en la SRH-BG.
Se muestra la ubicación de las estaciones climatológicas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

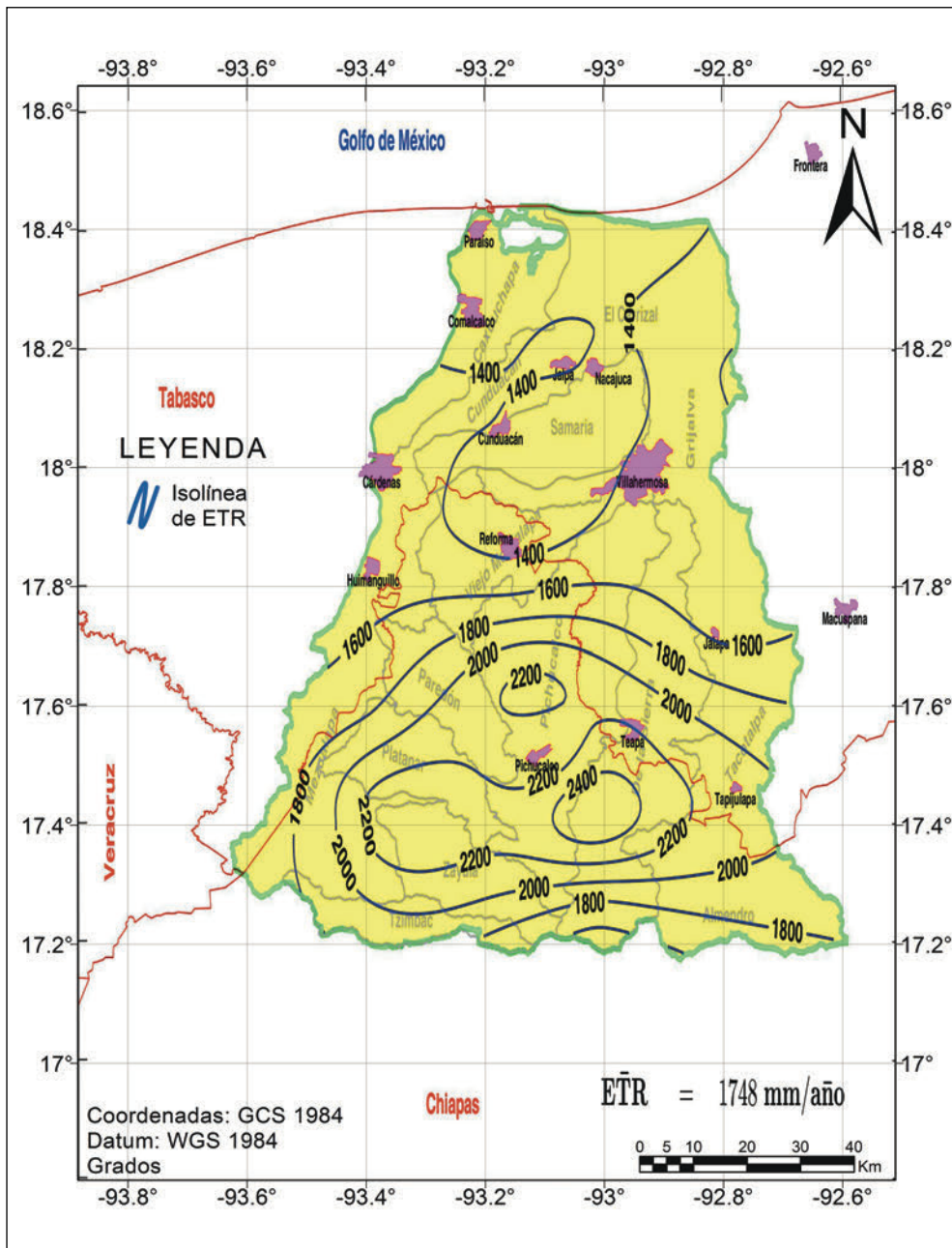
La temperatura media anual es de 26 °C y oscila entre los 20 °C, en las partes altas, hasta los 27 °C en la parte norte de la planicie (ver mapa 15). En cuanto a la evapotranspiración real (ETR), la superficie de la RH Bajo Grijalva genera una lámina promedio anual acumulada de recarga a la atmósfera de 1 748 mm (ver mapa 16). Las tasas de evapotranspiración aumentan de norte (1 400 mm/año) a sur (2 000 mm/año).

Mapa 15. Distribución de temperatura (°C) en la SRH-BG



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

Mapa 16. Evapotranspiración (mm/año) en la SRH-BG



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019b).

Las características climatológicas de la SRH-BG y sus cuencas se resumen en el cuadro 9. La cuenca con menor precipitación pluvial (1 845 mm/año) es Samaria, al norte de la cuenca RH, mientras que la de mayor precipitación (4 106.8 mm/año) es Zayula, al sudoeste, donde nacen los ríos de la Sierra. La cuenca más templada (22.2 °C) es también Zayula y la más cálida (27.9 °C) es Grijalva. Por otra parte, la cuenca con menor aporte de humedad a la atmósfera (1 363 mm/año) resulta ser Caxcuchapa y la de mayor tasa de evapotranspiración (2 123.6 mm/año) es Zayula.

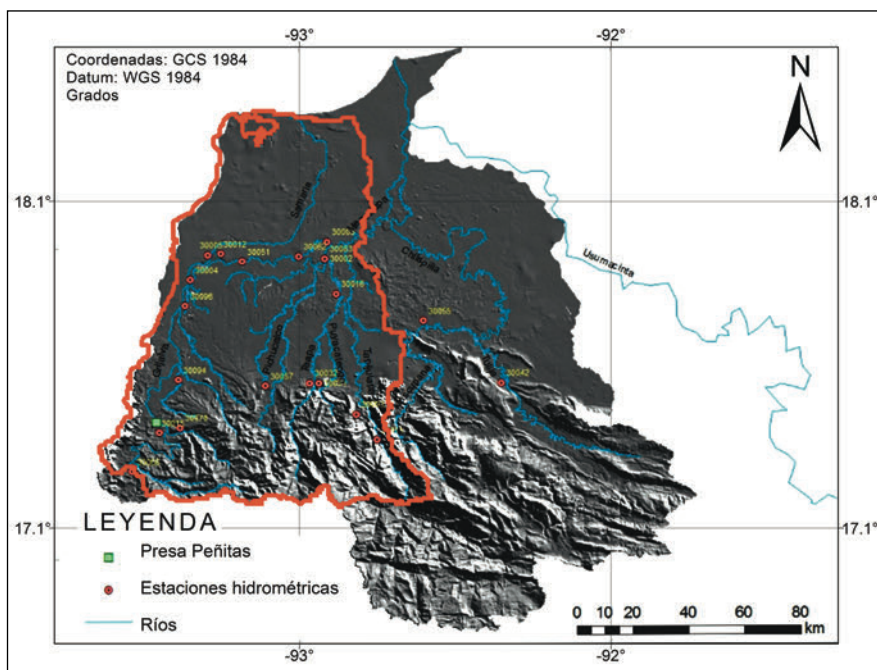
Cuadro 9. Características climatológicas de las cuencas de la SRH-BG

<i>Polígono</i>	<i>Nombre</i>	<i>hp (mm/año)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>ETR (mm/año)</i>
Región hidrológica	Bajo Grijalva	2 605.7	25.7	1 674.2
Cuenca	Grijalva	2 018.3	27.7	1 467.6
Cuenca	Viejo Mezcalapa	2 048	26.2	1 439.4
Cuenca	Mezcalapa	2 703.9	26	1 748.3
Cuenca	Tzimbac	3 481.5	22.2	1 884.7
Cuenca	Zayula	4 121.3	22.4	2 137.7
Cuenca	Platanar	3 740.6	25.1	2 123.5
Cuenca	Paredón	3 337.4	25.1	1 960
Cuenca	Pichucalco	3 406.3	25.4	1 979.9
Cuenca	De la Sierra	3 340.7	25.9	1 979.4
Cuenca	Tacotalpa	3 004.6	26.4	1 898.6
Cuenca	Almendo	2 444.7	24.6	1 563.4
Cuenca	De los Plátanos	1 775	17.5	1 090.7
Cuenca	Chacté	2 183	24.1	1 489.4
Cuenca	Puxcatán	2 625.8	25.1	1 675.2
Cuenca	Macuspana	2 988.9	25.8	1 841.8
Cuenca	Shumulá	2 826.4	22.6	1 646
Cuenca	Yashijá	3 172.5	25.4	1 922.4
Cuenca	Tulijá	3 205.9	26.4	1 998.8
Cuenca	Bascá	2 906.9	26.7	1 903.8
Cuenca	Chilapa	2 291.3	27	1 587.5
Cuenca	Chilapilla	1 909.5	27.8	1 441.6
Cuenca	Tabasquillo	2 101.2	27	1 489.4
Cuenca	El Carrizal	1 980.6	26.8	1 425.6
Cuenca	Samaria	1 849.1	26.7	1 353
Cuenca	Cunduacán	2 001.8	26.5	1 434.6
Cuenca	Caxcuchapa	1 922.2	26.8	1 391.9

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2010).

El sistema fluvial de la SRH-BG está constituido por el río Grijalva, que se forma en la confluencia del río de La Sierra y el Viejo Mezcalapa, aguas arriba de la ciudad de Villahermosa, y recibe las aguas del más caudaloso de sus afluentes —el río Usumacinta— en el sitio conocido como Tres Bocas. Desemboca finalmente en el golfo de México, en el Puerto de Frontera, Tabasco (ver mapa 17). El río Mezcalapa se bifurca en los ríos Samaria por su margen izquierda, y desemboca en el golfo de México en la Barra de Chiltepec después de varias bifurcaciones, y en el río Carrizal por su margen derecha. Este último cruza la ciudad de Villahermosa, donde recibe las aportaciones del río de la Sierra. Este sistema está sujeto a crecientes de tipo estacional. En el mes de mayo ocurren crecientes provocadas por la precipitación proveniente de sistemas tropicales. Estas crecientes persisten hasta noviembre. Sin embargo, a mediados de septiembre el escurrimiento en la cuenca también se genera por la incidencia de frentes fríos y esto se extiende hasta la última semana de febrero. Los meses críticos de precipitación y crecientes son septiembre y octubre, cuando estos dos sistemas climatológicos se combinan (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal] y Centro Nacional de Prevención de Desastres [Cenapred], 2008).

Mapa 17. Red fluvial de la SRH-BG



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Inegi (2019) y de Conagua (2019a).

La SRH-BG cuenta con estaciones hidrométricas que miden el gasto diario del flujo del cauce (ver mapa 17). El sistema fluvial Grijalva tiene mejor cobertura de monitoreo (seis estaciones hidrométricas) que los otros sistemas de la SRH. El cuadro 10 detalla las características de las estaciones hidrométricas ubicadas en la SRH-BG.

Cuadro 10. Estaciones hidrométricas localizadas en la SRH-BG

Núm.	Estación	Nombre	Coordenadas (1975-1990)		Gastos promedio (m ³ /s)
			Longitud	Latitud	
Río Grijalva					
1	30096	Paredón	93° 22' 00"	17° 49' 00"	23.516
2	30004	El dorado	93° 21' 00"	17° 54' 00"	722.441
3	30005	Samaria	93° 17' 30"	17° 58' 45"	522.676
4	30012	El Marín	93° 15' 00"	17° 59' 00"	97.214
5	30051	Reforma	93° 11' 00"	17° 57' 30"	233.714
7	30062	González	93° 00' 00"	17° 58' 30"	219.654
9	30002	Gaviotas	92° 55' 00"	17° 58' 00"	254.958
10	30083	Las Gaviotas II	92° 55' 00"	17° 58' 00"	280.803
12	30003	La Pigua	92° 54' 35"	18° 01' 15"	91.532
Río Mezcalapa					
1	30066	Tzimbac	93° 32' 15"	17° 17' 00"	14.826
2	30070	Sayula	93° 23' 00"	17° 25' 30"	51.450
3	30015	Las Peñitas	93° 27' 00"	17° 24' 30"	672.164
4	30094	Platanar	93° 23' 15"	17° 34' 40"	30.334
Río Teapa					
1	30031	Puyacatengo	92° 56' 15"	17° 34' 00"	18.353
2	30032	Teapa	92° 58' 00"	17° 34' 00"	38.954
3	30057	Pichucalco	93° 06' 30"	17° 33' 30"	38.423
4	30016	Pueblo Nuevo	92° 52' 45"	17° 51' 15"	206.607
Río Tapijulapa					
1	30111	Oxolotán	92° 45' 00"	17° 23' 00"	95.346
2	30093	Tapijulapa	92° 49' 00"	17° 28' 00"	107.990

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Conagua (2019a).

Análisis comparativo de las subregiones hidrológicas de estudio

Las tres áreas de estudio son contrastantes en términos de clasificación hidrológica, tamaño, clima, tipo de cobertura terrestre y disponibilidad de agua (ver cuadro 11), por lo cual tienen características hidrológicas particulares. A pesar de que las delimitaciones de las cuencas hidrológicas son de gran heterogeneidad espacial, las formas de las áreas de estudio y las cuencas o subcuencas que las conforman son todas alargadas (véanse los cuadros 3, 7 y 11). Esto indica que sus escurrimientos tienen una dirección bien definida y estructurada como tributarios de aporte al flujo de una corriente principal o, como en el caso de la SRH-VM, a un cuerpo de agua principal. El lago de la cuenca del Valle de México no llega a formarse, porque los sistemas de drenaje combinado que se han construido en la zona metropolitana de la Ciudad de México lo vacían continuamente. El aporte del Río San Juan es al río Bravo. La descarga del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta es directamente al golfo de México.

Cuadro 11. Características contrastantes de las áreas de estudio

<i>Característica</i>	<i>Río San Juan</i>	<i>Valle de México</i>	<i>Bajo Grijalva</i>
<i>Clasificación</i>	Subregión hidrológica	Cuenca	Subregión hidrológica
<i>Ubicación nacional</i>	Noreste	Centro	Sureste
<i>Clima</i>	Semiárido	Templado	Semihúmedo
<i>Tamaño (km²)</i>	32 942	9 636	9 830
<i>Temperatura (°C)</i>	20.3	14	25.9
<i>Precipitación (mm/año)</i>	493.4	693	2 791.6
<i>Evapotranspiración (mm/año)</i>	424	517	1 748.3
<i>Q_{lluvia} (m³/s)</i>	515.388	211.789	869.343
<i>Q_{evapotranspiración} (m³/s)</i>	442.855	158.063	544.443
<i>Q_{renovable} (m³/s)</i>	72.533	53.726	324.900

Nota: Q es el volumen de agua. $Q_{\text{renovable}} = Q_{\text{lluvia}} - Q_{\text{evapotranspiración}}$.

Fuente: Elaboración propia.

El tamaño de las áreas de estudio no necesariamente concuerda con su clasificación hidrológica. La SRH-RSJ es de mayor tamaño (32 942 km²) que la SRH-BG (9 830 km²). Esto es debido al relieve donde se ubican las áreas de estudio. En el noreste de la república mexicana, el territorio nacional es más ancho y la Sierra Madre Oriental que define los parteaguas está más alejada de la vertiente del golfo de México, por lo que se genera mayor área de captación de las cuencas. Por otro

lado, en el sureste, el territorio nacional es angosto y por tanto las áreas de captación son más pequeñas.

Así mismo, el tamaño de las entidades hidrológicas de estudio no necesariamente implica mayor captación pluvial en sus cuencas, porque ello depende también del régimen de lluvias. La SRH-BG (ver mapa 14), con su enorme precipitación pluvial (2 791.6 mm/año), capta una gran cantidad de agua de lluvia (869.343 m³/s) a pesar de tener menor superficie que la SRH-RSJ, que con su escasa precipitación (493.4 mm/año) sólo logra cosechar un volumen de agua de lluvia de 515.388 m³/s, que representa un poco más del doble de lo que se obtiene en la SRH-VM (211.789 m³/s) en una proporción de superficie de 1 a 3.4 veces.

El clima (temperatura, precipitación) es sin duda un factor determinante en la cantidad de agua natural disponible en las cuencas. La lluvia es el motor que genera los escurrimientos (disponibilidad natural de agua) en las cuencas. La temperatura y la vegetación que se desarrollan en los suelos de las cuencas determinan en gran medida el volumen de agua que se pierde de la cuenca hacia la atmósfera por evapotranspiración. Así, en el clima semihúmedo de la SRH-BG (ver cuadro 11) se tiene una gran precipitación pluvial y también una gran evaporación (con sus subsecuentes volúmenes) que dan como resultado un volumen de agua renovable (lluvia, menos evapotranspiración) bastante considerable (324.900 m³/s). En el caso extremo del clima semiárido de la SRH-RSJ, el volumen de agua renovable es mucho menor (72.533 m³/s), tan sólo 18.807 m³/s más que la SRH-VM.

Referencias

- Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 2 de junio de 2011. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5192916&fecha=02/06/2011
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) y Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (junio de 2008). *Tabasco: características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4* (Informe LC/MEX/L.864). Autor.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (1999). *Las fuentes de la energía*. Ciudad de México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2001). *Cuencas Hidrológicas. Escala 1:250 000*. México, D. F., fecha de publicación en metadatos es 18 de marzo de 2001. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=cue250kgw>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2009). *Subregiones Hidrológicas. Escala 1:250 000. República Mexicana*. Subdirección General Técnica. México, D. F.,

- fecha de publicación en metadatos es 27 de mayo de 2009. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=sbrh250kgw>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2015). *Estadísticas del agua en México*. México: Conagua/Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2019a). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2019b). *Normales Climatológicas por Estado*. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Gómez-Reyes, E. (2009). Aprovechar el agua de la cuenca en la cuenca. En E. Burns (edit.), *Repensar la cuenca: la gestión de ciclos del agua en el valle de México* (pp. 27-36). Ciudad de México: UAM.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). (2000). *Estudio de la calidad del agua en la cuenca del río San Juan*. Ciudad de México: Autor.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2010). *Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México: Autor.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2018). División política municipal, 1:250000. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/muni_2018gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía (Inegi). (2019). Hidrología. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrologia/>
- Legorreta, J. (2006). *El agua y la Ciudad de México: de Tenochtitlán a la megalópolis del siglo XXI*. Ciudad de México: UAM-Azcapotzalco.
- Legorreta, J. (2009). *Ríos, lagos y manantiales del valle de México*. Ciudad de México: UAM/Gobierno del Distrito Federal.
- Montero-Contreras, D., Gómez-Reyes, E. Carrillo-González, G. y Rodríguez-Tapia, L. (eds.). (2009). *Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua: nuevos retos del agua en el valle de México*. Ciudad de México: UAM/MA Porrúa.
- Mooser, F., Montiel, A. y Zúñiga, A. (1996). *Nuevo mapa geológico de las cuencas de México, Toluca y Puebla. Estratigrafía, tectónica regional y aspectos geotérmicos*. Ciudad de México: CFE.
- Morales-Novelo, J. (2011). *Un modelo de multiplicadores contables para el análisis de recursos hídricos en la cuenca del valle de México* (tesis doctoral). Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Global Water Partnership (GWP). (2006). *Gestión integrada de crecientes. Caso de estudio México: río Grijalva*. https://www.floodmanagement.info/publications/casestudies/cs_mexico_full.pdf

- Perló-Cohen, M. y González-Reynoso, A. E. (2009). ¿Guerra por el agua en el valle de México?: estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México. Ciudad de México: UNAM.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2001). *Informe climatológico ambiental*. Ciudad de México: Autor.
- West, R. C., Psuty, N. P. y Thom, B. G. (1985). *Las tierras bajas de Tabasco en el sureste de México*. Villahermosa, Tabasco: Gobierno del Estado de Tabasco.

DISPONIBILIDAD NATURAL DE AGUA EN LAS SUBREGIONES DE ESTUDIO

Felipe Omar Tapia-Silva / Eugenio Gómez-Reyes

Introducción

La gestión del agua en una cuenca debe considerar una estimación lo más acertada posible de la disponibilidad del recurso. De acuerdo con Bunge (2010), la disponibilidad natural de agua representa el volumen de agua neto por año existente en un territorio. La Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2009) sugiere su cálculo por medio de la suma de P (Precipitación) e ingresos por Esc (Escurrimiento), y a este resultado se le resta la suma de EVT (Evapotranspiración), salidas de Esc e Inf (Infiltración). El comportamiento de los elementos del ciclo hidrológico está fuertemente influenciado por los procesos de cambio de cobertura terrestre, especialmente en territorios en procesos de urbanización y antropización (Endreny, Somerlot y Hassett, 2003).

La impermeabilización de superficies resultante modifica la partición de P en los demás elementos (Esc , EVT e Inf). Como resultado, es posible observar modificaciones en la disponibilidad del recurso, así como otros efectos adversos, como el incremento de factores de riesgo relacionados con inundaciones y con movimientos masivos de tierra. Es prácticamente imposible evitar fenómenos como el crecimiento poblacional y la consecuente expansión de asentamientos humanos sobre áreas que proveen servicios ambientales fundamentales, como el de recarga del acuífero y suministro de agua fresca para la población. Por lo tanto, estos procesos requieren ser planeados en términos de un manejo sostenible del recurso hídrico. Estas actividades de planeación necesitan indistintamente información lo más certera posible respecto al balance y a la disponibilidad hídrica.

Debido a las complicaciones asociadas con la implementación práctica de modelos de base física en nuestro país –tales como la poca disponibilidad de mediciones en campo (Tapia-Silva, Silván-Cárdenas y Rosales-Arriaga, 2013), las dificultades

para la estimación de parámetros y otros aspectos que no sólo suceden en México, como los de equifinalidad (Beven, 2006)–, resulta pertinente probar métodos alternativos a las determinaciones tradicionales de los elementos de cálculo de la disponibilidad del agua. En este contexto, las determinaciones basadas en las disciplinas integradas en la geomática, tales como la percepción remota (PR), análisis espacial (AE) y sistemas de información geográfica (SIG), surgen como alternativas a los inconvenientes de las determinaciones tradicionales basadas en modelos y en estimación y medición *in situ* de parámetros. Entre estos inconvenientes está la reducida representatividad espacial de los parámetros que se pueden medir o estimar en campo para alimentar los modelos. Es decir, mediante los modelos tradicionales no siempre es posible capturar la variabilidad espacial de los parámetros. En cambio, con las técnicas de análisis de imágenes satelitales y de AE se tienen mayores posibilidades de capturarla.

En este capítulo se presentan y se discuten los resultados de disponibilidad de agua efectuados para tres subregiones hidrológicas (que para propósitos prácticos pueden considerarse también como cuencas) con características diversas representativas de tipos de ambientes observables en nuestro país (ver la localización en el capítulo anterior). La primera de ellas, la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG), se ubica en el trópico húmedo del sureste con poca densidad poblacional. Otra, la Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM), se localiza en el altiplano central mexicano con clima templado y con lluvias de mediana intensidad, así como alta densidad poblacional. La última es la Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ), que se encuentra en el norte semiárido y tiene una vocación de agricultura intensiva de riego y una población concentrada en las grandes ciudades.

Las determinaciones se basaron en una metodología basada en AE y PR (MAEPR). La utilización de productos de sensores satelitales, así como en técnicas de AE que combinan mediciones en campo y productos satelitales y brindan elementos de estimación sólidos de los elementos de cálculo de la disponibilidad del agua con alcances de estimaciones del balance hidrológico. Los resultados se comparan a escala subregional con los obtenidos por la aplicación de un modelo de cálculo de base física y con datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) para discutir su aplicabilidad.

El objetivo principal de este capítulo consiste en desarrollar y validar una metodología auxiliada por PR y AE que sea aplicable a las condiciones de disponibilidad de datos y escala espacial de las subregiones de análisis, para obtener con la mayor certeza posible las disponibilidades superficial y subterránea a escala municipal, así como los elementos del balance hidrológico en una base multianual.

Marco teórico

Balance hidrológico

El ciclo del agua y su uso son fenómenos intrínsecamente asociados con el espacio, y por ello la hidrología se define como una ciencia geográfica (Tapia-Silva, 2010). En el artículo de Tapia-Silva (2010) se apunta que los componentes del ciclo y otros factores involucrados en la compleja problemática del agua tienen una referencia geográfica y una variabilidad espacial y temporal observables. Igualmente se indica en ese artículo que desde un punto de vista territorial, los estudios tendientes a incidir en su resolución deben considerar un enfoque sistémico y requieren información y conocimiento que reflejen la variabilidad espacial y temporal de tales factores.

Sensores satelitales y AE

La observación de la tierra mediante sensores remotos es el método más completo para monitorear los riesgos naturales más importantes (Xin, Li y Cheng, 2007). A escala mundial, PR ha probado ser una herramienta poderosa en la comprensión global de fenómenos naturales y antropogénicos. Es particularmente apreciada por ser una técnica de medición no invasiva, no destructiva y de cobertura global y sinóptica (con tiempos invariantes de revisita de la misma superficie de la tierra). En este contexto, tanto la radiometría satelital, como la aerotransportada y la radiometría *in situ* se han convertido en herramientas útiles para tareas de caracterización, prospección y monitoreo continuos de los recursos naturales, incluido el balance hidrológico.

Bailey y Gatrell (1995) definen al AE como el estudio cuantitativo de fenómenos localizados en el espacio. Estos mismos autores aportan una definición extendida del ámbito de acción del AE: situaciones en las que existen datos observacionales de algún proceso operando en el espacio y en las que se requieren métodos para describir o explicar el comportamiento del proceso y para relacionarlo con otros fenómenos espaciales. Los autores indican que el objetivo consiste en incrementar el conocimiento básico del proceso, establecer evidencias que favorezcan hipótesis o posibiliten la predicción de valores en áreas donde no se han realizado observaciones. De esta forma, las técnicas de AE permiten incrementar el potencial de uso en cuanto a representatividad espacial y en cuanto a contenido de información de los datos provenientes de campo y de satélites. Estas técnicas favorecen la creación de esquemas de generación de superficies (mapeo) de la información disponible, incluso mediante la utilización de información adicional que aporta valor a la

misma información original y mejora sus cualidades de representatividad espacial (Tapia-Silva *et al.*, 2013).

Antecedentes de investigación

Reitz, Senay y Sanford (2017) han explorado las posibilidades de PR y AE como herramientas para definición de balances hídricos. Karimi y Bastiaanssen (2015), basados en una extensa revisión de estudios con períodos anuales y de temporada interanual, han concluido que usando PR, los valores absolutos de *EVT* pueden estimarse con una exactitud general de 95 por ciento y los de lluvia con 82 por ciento. Esta investigación soporta la solidez con la que los parámetros del balance hídrico pueden ser estimados usando PR y AE, en comparación con métodos tradicionales que difícilmente llegan a exactitudes semejantes. De acuerdo con Lettenmaier *et al.* (2015), la PR se ha vuelto una herramienta común para muchas investigaciones hidrológicas. Estos autores también confirman con su revisión de literatura la certeza que se puede obtener usando PR para estimar *P* y *EVT* entre otras variables hidrológicas investigadas.

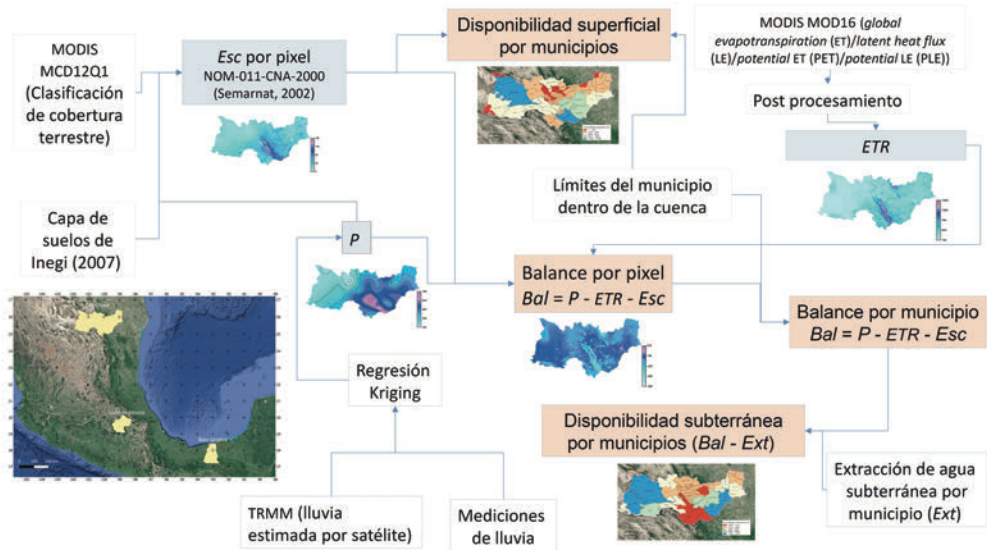
Zhang, Kimballand y Running (2016) indican que *EVT* es difícil de medir y de predecir, especialmente en escalas espaciales mayores, y que PR provee un método efectivo en costos para estimarla a escalas regionales y globales. El estudio de Mbulisi, Dube, Seutloali y Adelabu (2015) concluye que PR es la mejor alternativa para monitorear la disminución de acuíferos en países poco desarrollados, como los africanos. Corbari, Mancini, Su y Li (2014) resolvieron la ecuación de balance utilizando *P* desde Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), almacenamiento de agua a partir de datos satelitales de Gravity Recovery and Climate Experiment (GRCE) y de las descargas medidas en campo. De esta forma obtuvieron *EVT* como término residual del balance hidrológico.

Metodología

En la figura 1 se resume la metodología MAEPR aplicada en cada una de las subregiones de estudio. *Esc* por pixel se obtiene a partir de capas de cobertura terrestre obtenidas mediante imágenes MODIS (producto MCD12Q1), de *P* y de suelos del Inegi (2007) se obtiene *Esc* por pixel (el procedimiento en detalle para obtener *P* y *Esc* se explica en los apartados siguientes). Se agrupa *Esc* por pixel mediante operaciones zonales por municipio para obtener el estimado de disponibilidad superficial. Para obtener la disponibilidad subterránea primero se efectuó un balance en términos de $Bal = P - Esc - ETR$. *Bal* es un indicador justo del balance (positivo o negativo) de un acuífero. Los valores positivos pueden indicar la recarga y los negativos pueden indicar la sobreexplotación o uso de fuentes adicionales al agua de lluvia o

subterránea. La disponibilidad subterránea se obtuvo por municipio restando a *Bal* las extracciones de agua subterránea (*Ext*) que están reportadas así por la Conagua (Semarnat, 2011).

Figura 1. Metodología MAEPR para obtener balance hidrológico ($P-ETR-Esc$) y de cálculo de disponibilidad superficial y subterránea por municipios, basada en AE y PR aplicada a las tres SRH de estudio



Nota: En la figura 1 se resume la metodología MAEPR aplicada en cada una de las subregiones de estudio. *Esc* por píxel se obtiene a partir de capas de cobertura terrestre obtenidas mediante imágenes MODIS (producto MCD12Q1), de *P* y de suelos del Inegi (2007) se obtiene *Esc* por píxel (el procedimiento en detalle para obtener *P* y *Esc* se explica en los apartados siguientes). Se incluyen capas espaciales generadas por los autores para las zonas de estudio, a excepción de la información de fondo provista por Google Satellite© y la delimitación de las subregiones hidrológicas.

Fuente: Elaboración propia con información de Google Satellite© y de la Conagua (2007).

No se incluyen en este balance las fuentes externas (*Fext*) ni las extracciones de agua subterránea (*Ext*) debido a dos razones principales. Una es que estamos desarrollando un balance basado en PR y AE (razón metodológica) y la otra es que *Fext* es significativa particularmente para el Valle de México, donde se importan caudales externos, por ejemplo, del Cutzamala, pero que no se incluyen porque no se sabe exactamente la localización espacial de su ingreso. Ello se debe a que estos caudales ingresan a la red de distribución y llegan a los domicilios particulares y a

establecimientos privados y públicos por la red de distribución, que es bastante compleja. Sin embargo, eso no significa que este factor no esté considerado en su totalidad, dado que parte de los caudales provenientes de *Fext* se captan mediante el valor obtenido de *ETR* real.

Otra parte de ellos se va directamente a la red de drenaje como aguas servidas y al funcionar ésta como un sistema independiente, no hay un efecto local sobre el área de análisis (pixel) considerada en el modelo. Como el balance se realiza a nivel de pixel, este no se ve afectado. Los valores de disponibilidad fueron expresados por las partes de los municipios que están dentro de las subregiones de análisis. Es decir, los municipios ubicados en los límites de las regiones hidrológicas se cortaron de acuerdo a estos límites.

En cuanto a la temporalidad de las estimaciones, como puede observarse en la figura 1, la metodología utiliza información satelital sobre los tipos de cobertura terrestre, *ETR* (ambos de la misión MODIS) y lluvia satelital (de TRMM). Debido a que en el momento de realizar el estudio sólo había datos disponibles de 2000 a 2012, la temporalidad del estudio quedó definida entre estos 13 años.

Obtención de P

Para estimar esta variable se consideró un esquema de integración entre la información medida puntualmente en campo y la información medida mediante la misión satelital TRMM de acuerdo con lo mencionado en Tapia-Silva *et al.* (2013). El esquema de integración desarrollado se basa en técnicas de AE geoestadístico expuestas en ese artículo. El argumento principal de la integración de la información tiene que ver con el hecho de que la información obtenida mediante mediciones en campo (pluviómetros en este caso) capturan la precisión puntual del fenómeno observado y, por otro lado, la información generada por sensores satelitales permite capturar la variabilidad espacial de parámetros que pueden ser determinados con base en su reflectancia. El método utilizado es regresión *kriging* (RK) (Hengl, 2009), que estima la media a partir de la relación lineal con la(s) variable(s) externa(s), en nuestro caso TRMM (Adler, Wang, Gu y Huffman, 2009); y el error espacialmente autocorrelacionado, mediante el ajuste de un semivariograma utilizando la variable a interpolar medida puntualmente. Este tipo de esquemas son novedosos y sólo algunas publicaciones como Wang y Lin (2015) y Lin y Wang (2011) lo han abordado a escala mundial.

Obtención de Esc

El producto satelital de MODIS MCD12Q1 se utilizó como entrada de tipos de cobertura terrestre para calcular el coeficiente de *Esc* de acuerdo con la metodología presentada en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 (2002). La selección

de esta metodología se apoya en la revisión de antecedentes de investigación lo cual nos permitió definir que son métodos semejantes a la metodología propuesta en esta norma los que se han aplicado para el cálculo de *Esc*. Otras capas geográficas de entrada fueron la de suelos, publicadas por el Inegi (2007) y la de *P* estimada mediante RK, como se indicó anteriormente. La capa de suelos permitió extraer la información de grupos texturales útiles para definir el factor K y calcular el coeficiente de *Esc*. El producto MCD12Q1 provee cinco tipos de clasificaciones de cobertura terrestre, así como información por pixel sobre la calidad de las determinaciones. En el caso de este estudio, se utilizó el tipo 1, que es un esquema de clasificación de tipos de cobertura terrestre propuesto por el Programa Internacional de la Geósfera-Biófera ([IGBP por sus siglas en Inglés] National Center for Atmospheric Research Staff, 2017).

Obtención de ETR

Las capas espaciales correspondientes a este parámetro fueron las del producto MOD16 (*global evapotranspiration [ET]/latent heat flux [LE]/potential ET [PET]/potential LE [PLE]*). Se utilizaron las coberturas correspondientes de este parámetro para las zonas de estudio a partir del conjunto de datos globales a una resolución espacial de 1 km² que contiene *ETR* para las áreas con vegetación, a intervalos de tiempo anuales. La temporalidad de los datos va de 2000 a 2012. Este producto de *ETR* se estima utilizando el algoritmo de Mu, Zhao y Running (2011), mejorado a partir del presentado en Mu, Heinsch, Zhao y Running (2007), tomando como base la ecuación de Penman-Monteith (Monteith, 1965).

Obtención de disponibilidades superficial y subterránea por municipio

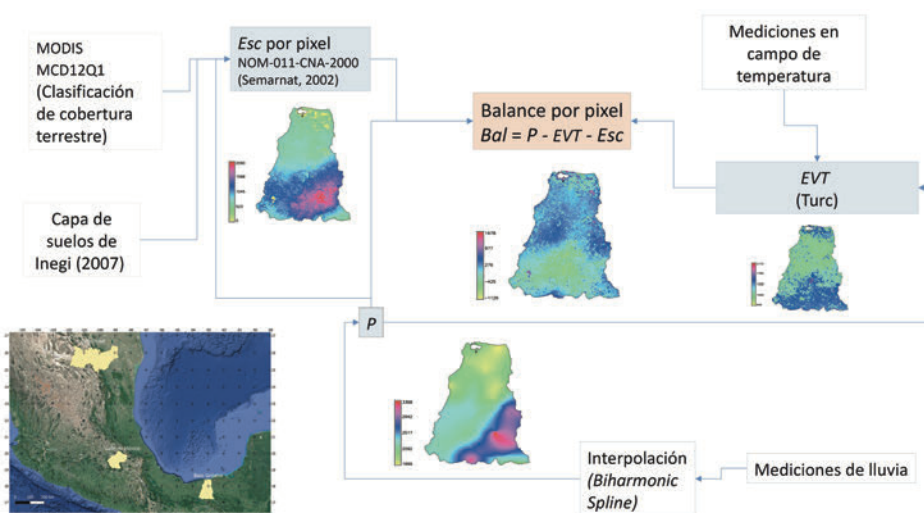
Los cálculos se hicieron para la parte de cada municipio incluida en cada SRH. Esencialmente la disponibilidad superficial se obtiene de la suma de todo lo que escurre a partir de la lluvia que cae en un municipio. La disponibilidad se obtuvo calculando la suma del valor de *Esc* de cada uno de los pixeles incluidos en los polígonos de los municipios. La disponibilidad subterránea se obtuvo a partir del valor *Bal* obtenido mediante la suma del valor de los pixeles incluidos en el polígono de cada municipio. A este valor agrupado por municipio se le restaron las *Ext* por municipio, reportadas por la Conagua (Semarnat, 2011).

Validación de resultados

Con fines de validación, se compararon los resultados de los elementos del balance hidrológico para toda la subregión, obtenidos con la MAEPR, con los resultados correspondientes, obtenidos mediante la aplicación de la metodología indicada en

la figura 2, a la cual denominaremos metodología estándar (ME). Esta metodología obtiene P y EVT de una forma diferente a la MAEPR. Se estimó P mediante una interpolación mecánica de ajuste de funciones radiales (*splines*), utilizando como entrada 30 años (de 1990 a 2010, excluyendo para el promedio los datos faltantes de algunos días) de mediciones de P en promedio multianual. Se valoró EVT utilizando el método de Turc (Remenieras, 1971). De esta manera se efectuó el mismo balance por pixel que en el caso de MAEPR ($P-EVT-Esc$).

Figura 2. Metodología estándar (ME) implementada con fines de comparación con la MAEPR del balance hidrológico ($P-EVT-Esc$), aplicada a las tres SRH de estudio



Nota: Se incluyen capas espaciales generadas por los autores para las zonas de estudio, a excepción de la información de fondo provista por Google Satellite© y la delimitación de las subregiones hidrológicas.

Fuente: Elaboración propia con información de Google Satellite© y de la Conagua (2007).

Otros procedimientos de validación de los resultados obtenidos con la MAEPR efectuados en esta investigación son los siguientes. Las disponibilidades superficiales por subregión se compararon con los valores de escurrimiento natural publicados por la Conagua (2017b). Ello se justifica porque dichos valores se obtienen a partir del cálculo de Esc superficial. Estos datos fueron obtenidos de la base de datos del Gobierno de la república (Conagua, 2017a). En el caso de las disponibilidades subterráneas, también fueron publicadas por la Conagua por acuífero (Acuerdo por el que se actualiza

la disponibilidad, 2018). Por tal motivo, se hizo una comparación visual entre los valores obtenidos mediante la MAEPR a escala municipal y los valores de la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018) a escala de acuífero.

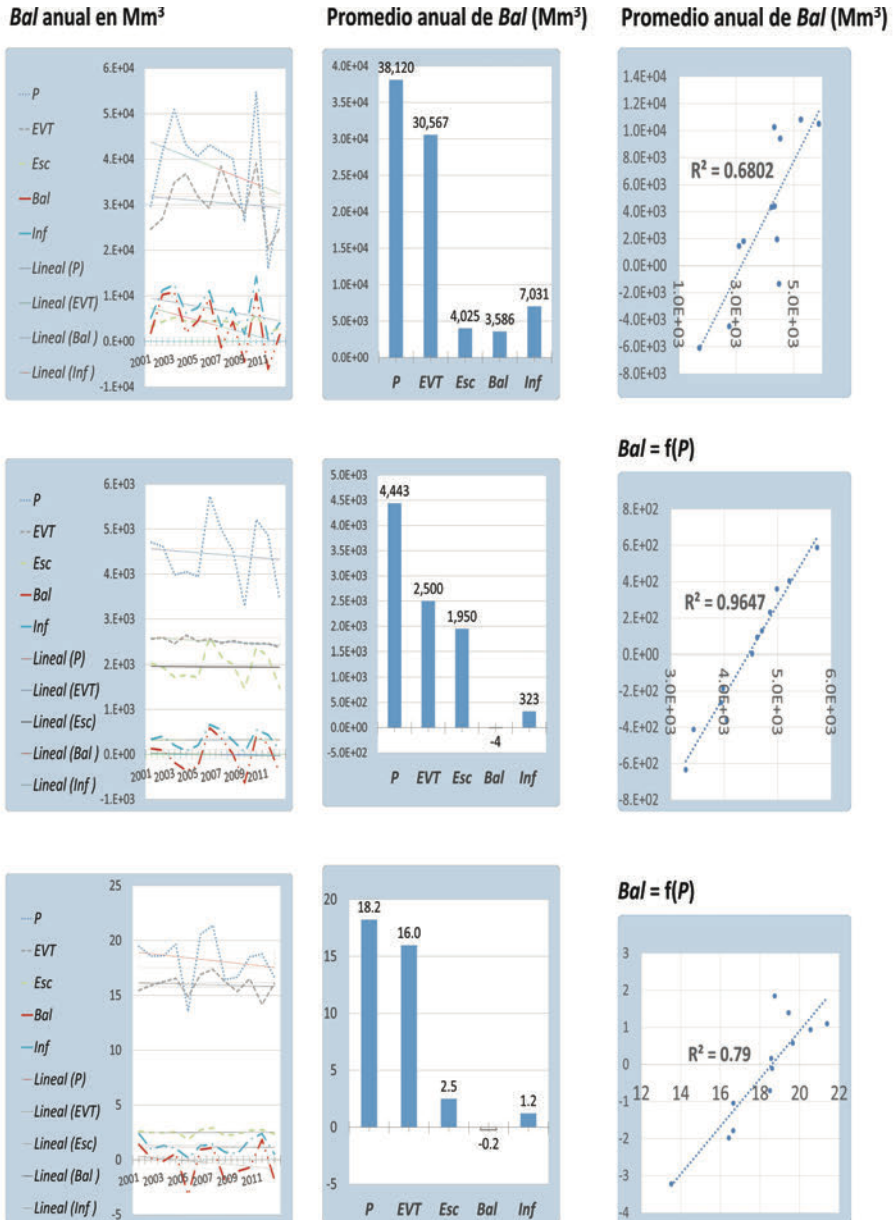
Resultados y discusión

La gráfica 1 incluye un resumen de los resultados obtenidos de *Bal* para cada uno de los años de análisis (de 2000 a 2012) con datos de las tres subregiones. En las gráficas de la izquierda se presentan series anuales del promedio de los elementos *P*, *EVT*, *Esc* y de los valores obtenidos de $Bal = P - EVT - Esc$, así como de los valores en los que este balance es positivo, que indican que ahí se da el proceso de *Inf* como indicador de recarga. En la parte media de las gráficas se presenta el promedio anual para todo el período de estudio (de 2000 a 2012) de los elementos de *Bal*. Finalmente, en las gráficas de la derecha se incluye una regresión lineal de la variable que define en mayor medida el comportamiento de *Bal*.

Como puede observarse en los paneles de la izquierda, en el caso de la SRH-RSJ, tanto *P* como los demás elementos del balance hidrológico tienden a reducirse más marcadamente que en las otras subregiones de estudio. En el caso de las otras dos subregiones de estudio, *P* también tiende a disminuir, aunque con menor velocidad que la de SRH-RSJ. La variable que resulta más estable en todos los casos es *EVT*. En las tres subregiones de estudio, *Bal* fluctúa entre valores positivos y negativos. En todos los casos se presentan áreas con *Inf*, aunque eso no significa necesariamente que el balance sea positivo. De hecho, como se acaba de indicar, hay años con *Bal* negativo para toda la subregión. Para esos años, la suma de *EVT* y *Esc* es mayor que *P*, lo que implica que se utilizó agua proveniente de otras zonas (trasvases) o se extrajo agua de los acuíferos, y esta agua se registra en el modelo esencialmente como *EVT*.

En la sección de cálculo de la disponibilidad subterránea se abunda en este punto, específicamente en cuanto a *Ext*. Del análisis de los paneles del centro se puede observar que *P* es mayor que *EVT* y los demás parámetros. Sólo en el caso de SRH-RSJ se tiene en promedio un *Bal* positivo; es decir, que en general lo que llueve es mayor que lo que se evapora y lo que se genera de *Esc* en la subregión. En los paneles de la derecha se puede observar que para SRH-BG y SRH-VM, *Bal* depende primordialmente de lo que llueve; y en el caso de la otra subregión, de *Esc*. En el caso de las dos primeras subregiones se trata un descubrimiento interesante, ya que con un R^2 bastante alto (en el caso del Valle de México, 0.77; y en Bajo Grijalva, 0.96), sólo *P* explica *Bal*, lo que tiene implicaciones, por ejemplo, en términos de posibilitar la estimación de efectos del cambio climático en el balance hidrológico, tomando sólo como variable predictora *P*.

Gráfica 1. Resumen de resultados del balance hidrológico (*P-EVT-Esc*) efectuado mediante MAEPR de las tres subregiones de estudio con datos anuales de 2000 a 2012 (valores en mm³)



Fuente: Elaboración propia.

*Comparación de resultados
de los parámetros hídricos usando la MAEPR y la ME*

En el cuadro 1 se incluye una comparación entre los cálculos realizados mediante la metodología MAEPR y la ME para la SRH-BG y SRH-VM. Como puede apreciarse, para ambas subregiones existe buena coincidencia entre los valores obtenidos por las dos metodologías para *P*, *EVT*, *Esc* e *Inf*. En el caso de SRH-BG, en ambas variables se obtuvo una estimación menor en el caso de las estimaciones basadas en imágenes satelitales y AE que las estimaciones mediante ME. La diferencia es de 20 y 28 por ciento menos, respectivamente, para *P* y para *EVT*. *Esc* e *Inf* son mayores para MAEPR que para la ME en 31 y 32 por ciento, respectivamente. En el caso de la SRH-VM, las estimaciones basadas en la MAEPR son mayores que las estimadas mediante la ME. *P* es mayor en un cinco por ciento, *EVT* en 24 por ciento, *Esc* en 20 por ciento e *Inf* en un cuatro por ciento. Dado que el orden de magnitud es semejante entre las variables comparadas, es posible afirmar que la MAEPR es una metodología que arroja resultados aceptables.

Cuadro 1. Comparación entre resultados de MAEPR y ME

<i>Metodología</i>	<i>P</i> (<i>hp</i>) (<i>mm/año</i>)	<i>EVT</i> (<i>mm/año</i>)	<i>Esc</i> (<i>mm/año</i>)	<i>Inf</i> (<i>mm/año</i>)
SRH-BG				
ME (promedio 30 años)	2 605.7	1 674.2	722.9	208
MAEPR (promedio 13 años)	2 043.1	1 212.5	945.5	276.1
SRH-VM				
ME (promedio 30 años)	693	517	83	93
MAEPR (promedio 12 años)	729	639	101	97

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene la opinión de que estos resultados son más sólidos que los calculados con metodologías tradicionales, debido a que se apoyan en mediciones remotas, basadas en la respuesta espectral de los objetos en la superficie terrestre y en métodos de AE para interpolación (*kriging*) considerados superiores que los métodos mecánicos tradicionales (como IDW o *splines*), en términos de captura de la variabilidad espacial de los parámetros del balance hidrológico. Además, estos resultados permiten definir que la estimación para esos 13 años es representativa de los 30 años que normalmente se consideran suficientes para efectuar una determinación multianual.

*Comparación de los resultados de disponibilidad superficial
por subregión con los datos oficiales de escurrimiento natural*

En el cuadro 2 se comparan los valores obtenidos usando la MAEPR con los valores oficiales reportados por la Conagua (2017b) de *Esc* natural. En este caso, sólo los valores de la subregión de la SRH-VM presentan poca coincidencia con los datos oficiales de la Conagua. En el caso de la SRH-RSJ los datos comparados son muy cercanos. Esto indica que la MAEPR está funcionando de manera aceptable. La discordancia para la SRH-VM puede explicarse debido a los trasvases externos ($20 \text{ m}^3/\text{s}$) que llegan entubados a la subregión provenientes de los sistemas Lerma y Cutzamala (Conagua y Banco Mundial, 2015). Este caudal representa cerca de 631 Mm^3 que no ingresan en su totalidad al sistema de drenaje para volverse parte del *Esc*, sino que en buena medida se evaporan o regresan al subsuelo como infiltración. Con base en los resultados de la SRH-RSJ y la SRH-BG, y de acuerdo con investigaciones previas que utilizan PR y AE para estimar los elementos del balance hidrológico (Corbari, Mancini, Su, Yand Li, 2014; Karimi y Bastiaanssen, 2015; Lettenmaier *et al.*, 2015; Mbulisi *et al.*, 2015; Reitz *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2016), postulamos la confiabilidad de la MAEPR para estimar la disponibilidad superficial.

*Cuadro 2. Comparación de las disponibilidades superficiales por subregión
(datos propios contra los datos de la Conagua) usando la MAEPR*

<i>Subregión</i>	<i>Cálculo propio (MAEPR) de disponibilidad superficial ($\text{Mm}^3/\text{año}$) sin considerar el volumen comprometido (escurrimiento natural)</i>	<i>Volumen medio de escurrimiento natural/ ($\text{Mm}^3/\text{año}$)</i>
Río San Juan	400.2	289.553 ¹
Valle de México	2.5	331.64
Bajo Grijalva	1 948.8	1 639.5

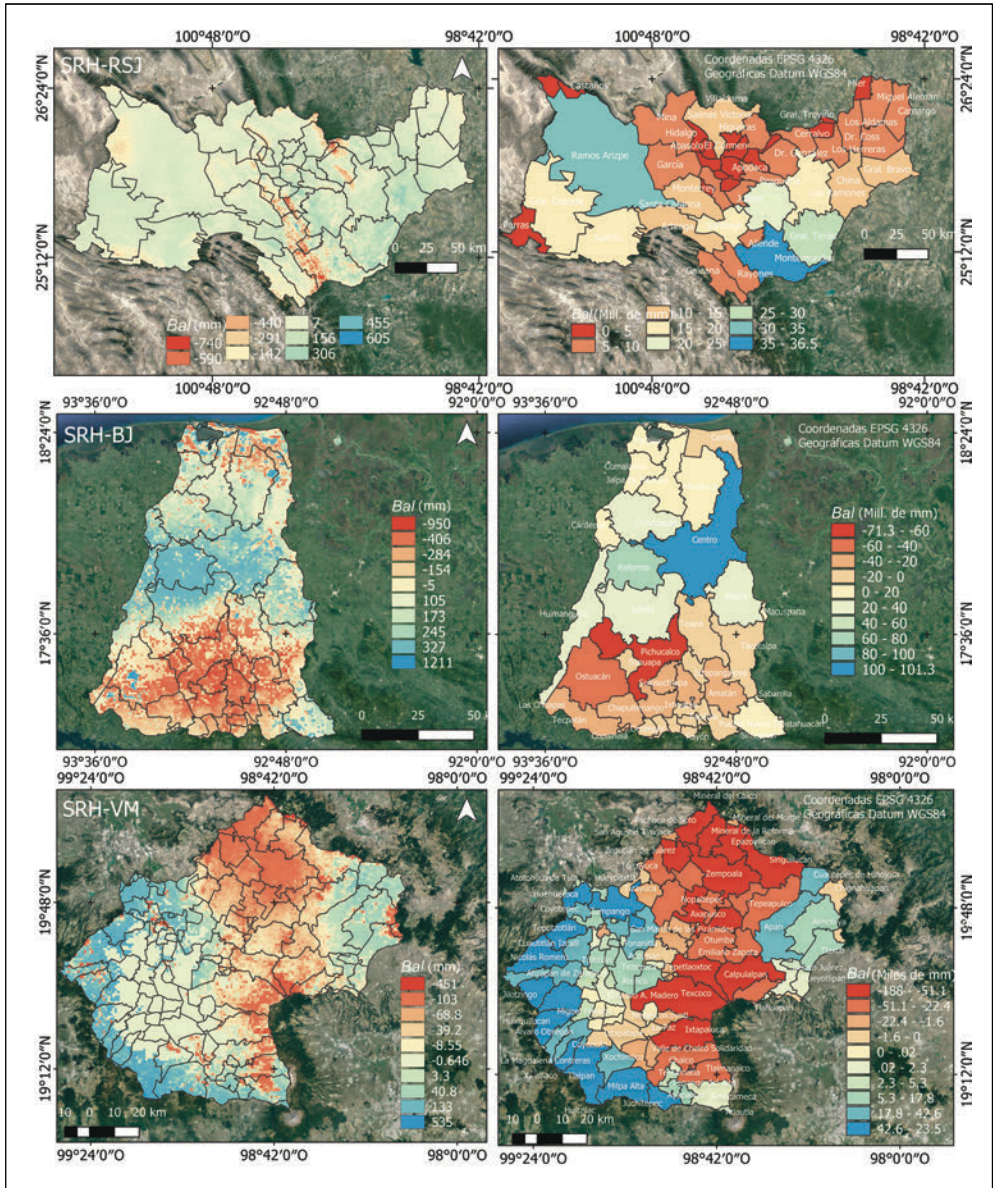
¹ Tomado como volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca Río San Juan 3 hacia aguas abajo = volumen medio anual de escurrimiento natural, considerando que en promedio para la cuenca Región Hidrológica Administrativa del Río Bravo, las aportaciones y las extracciones son casi compensatorias (Conagua, 2017).

Fuente: Elaboración propia con base en Conagua (2017b).

Estimaciones del balance por municipio en las subregiones de estudio

El mapa 1 muestra la información obtenida de *Bal* por pixel (recuadros del lado izquierdo) y por municipio (recuadros del lado derecho) para cada una de las subregiones de estudio.

Mapa 1. Valores de *Bal* por píxel en mm/año (recuadros de la izquierda) y por municipio (recuadros de la derecha) en las subregiones de estudio (SRH-RSJ arriba, SRH-BG en medio y SRH-VM abajo)



Fuente: Elaboración propia mediante el método MAEPR. Se toma como marco Google Satellite ©.

En la figura es posible observar que las áreas con tonos verdes y azules tienden a presentar un balance positivo, lo que indica que P es superior a la suma de EVT y Esc . Las áreas con tonos amarillos tienen un balance cercano a cero, lo que puede indicar disponibilidad nula, y las áreas con tonos rojos presentan disponibilidad negativa. La disponibilidad negativa puede suponer dos casos: los de sobreexplotación del acuífero y los de utilización de caudales de agua provenientes de áreas externas a las de análisis. Para el caso de SRH-RSJ, los balances positivos se concentran en la parte oeste y en el sureste. Para el caso de la SRH-VM, es posible observar que las partes del suroeste de la subregión, así como la mayoría de las del este, tienen balances positivos. En la zona más urbanizada de esta subregión se tienen valores del balance cercanos a cero, lo que indica que P es mayor que la suma de EVT y Esc . En el caso de la SRH-BG, los valores de Bal negativo se concentran al sur de la misma y algo en el norte. En el centro se observan los valores cercanos a cero y los positivos.

Agrupar la información por municipio a partir de los valores por pixel tiene algunos efectos, como el observable en el caso de la SRH-RSJ: los verdes predominantes a nivel pixel en el norte y noreste se ven absorbidos por los colores naranja, al mezclarse con los rojos circundantes. Se trata principalmente de un efecto de obtención del promedio a partir de las operaciones zonales en sistemas de información geográficas (SIG). En el caso de la SRH-VM, es posible observar un patrón semejante al análisis realizado con la información a nivel pixel. Los municipios del suroeste y del este presentan un valor de Bal positivo; los de la zona más urbanizada, uno tendiente a cero; y los del centro sur y centro norte presentan Bal negativos. En estos últimos lo que se evapora y escurre es mayor que lo que llueve, lo que indica que se extrae agua subterránea, que se ocupan caudales de Esc generados de fuera de esos municipios, o ambos. Cuando se agrupa la información por municipios en el caso de la SRH-BG, los azules observados a nivel pixel en la parte centro oeste (que son los valores de Bal más altos) tienden a desplazarse hacia el centro este (a la derecha). En la parte norte, a nivel pixel se observan verdes que son diluidos por municipio y dominados por los amarillos (valores menores de Bal que los verdes). A mayor grado de rojo, mayor disponibilidad negativa; a mayor grado de azul, mayor disponibilidad hídrica, pasando por naranja, amarillo y verde en orden ascendente.

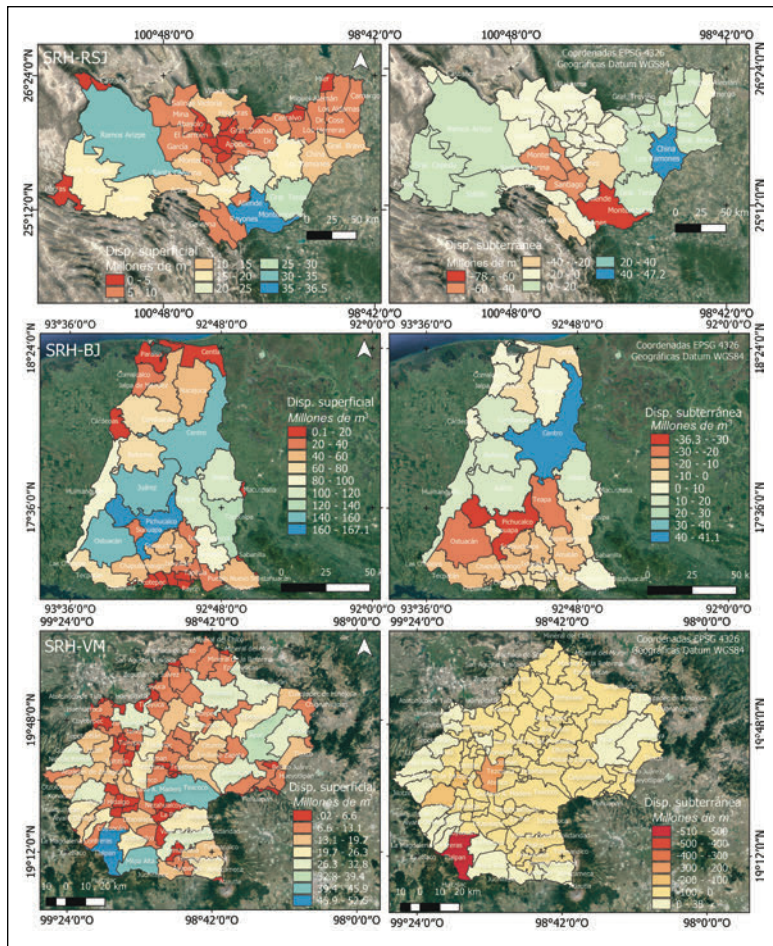
En el caso de la SRH-RSJ, los municipios que tienen los valores mayores de Bal son General Terán en primer término, seguido por Ramos Arizpe, General Cepeda y China. En el caso de la SRH-VM, son las alcaldías Tlalpan y Magdalena Contreras en la Ciudad de México y los municipios Huehuetoca, Coyotepec y Tepotzotlán en el Estado de México. En esta misma subregión le siguen otras alcaldías con valores positivos, como Milpa Alta, Xochimilco y Álvaro Obregón, así como los municipios Naucalpan, Atizapán, Cuautitlán Izcalli, Zumpango y Nextlalpan. En el caso

de la SRH-BG, el municipio de Centro es el que tiene el mayor valor de *Bal*, seguido del municipio Reforma.

Disponibilidades subterránea y superficial por municipio

El mapa 2 muestra las disponibilidades superficiales y subterráneas por municipio en $Mm^3/año$ para las tres subregiones de estudio.

Mapa 2. Disponibilidades subterránea y superficial por municipio para las SRH de estudio



Fuente: Elaboración propia mediante el método MAEPR. Se toma como marco Google Satellite ©.

En las subregiones se muestran las disponibilidades negativas o bajas tendientes al rojo y las positivas o altas tendientes al azul. En el caso de la disponibilidad subterránea, las positivas indican que se genera recarga en mayor medida que lo que se extrae. En este caso, los valores positivos bajos se indican con color verde y valores positivos más altos con color azul. Los negativos se indican en amarillo, naranja y, los más negativos, en rojo. Los valores negativos de disponibilidad subterránea para los casos de la SRH-VM y de la SRH-RSJ corresponden primordialmente a zonas de sobreexplotación del acuífero, y en el caso de la SRH-BG, a zonas que reciben *Fext*. La MAEPR es interesante porque la EVT registra cantidades de agua que pueden provenir de agua de lluvia o de otras *Fext*.

Para la SRH-RSJ puede observarse que los municipios con valores de *Bal* mayores siguen siendo los que tienen las disponibilidades subterráneas mayores. En el caso de la SRH-VM, la situación es semejante, con la gran excepción correspondiente a la alcaldía Tlalpan. Ésta presenta un valor negativo muy alto, $-569 \text{ Mm}^3/\text{año}$, que contrasta con el valor positivo que tiene en cuanto a *Bal* ($117.3 \text{ Mm}^3/\text{año}$), mismo que puede considerarse recarga del acuífero. Es decir, en esta alcaldía la sobreexplotación es intensa y esto está probablemente relacionado con la idea de que ahí se produce una gran recarga del acuífero, lo que es cierto en buena medida por las altas cantidades de lluvia que se registran ahí y por la permeabilidad que tienen los materiales rocosos que la conforman. Sin embargo, ése es el caso más fuerte de sobreexplotación que existe de acuerdo con los resultados.

Otro caso extremo es el de Ecatepec de Morelos, en el Estado de México, en el que la sobreexplotación del acuífero de acuerdo con las estimaciones es de $231.7 \text{ Mm}^3/\text{año}$, resultantes de una recarga obtenida con MAEPR de $3.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$ y una *Ext* de acuerdo con los datos de la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018) de $228 \text{ Mm}^3/\text{año}$. Para esta subregión se tienen prácticamente sólo valores negativos de disponibilidad subterránea (entre 0 y $-569 \text{ Mm}^3/\text{año}$). Esto es un indicador más de la enorme crisis de disponibilidad de agua en esta subregión, que además está intensamente poblada (aproximadamente 22 millones de personas) (Conagua, 2013).

En el caso de la SRH-BG, el patrón espacial de *Bal* y el de disponibilidad subterránea por municipio son semejantes. El municipio que muestra la mayor disponibilidad es Centro, con un valor de $41 \text{ Mm}^3/\text{año}$. En esta subregión se tienen valores negativos de disponibilidad subterránea, lo que en esta investigación se atribuye no a la sobreexplotación del acuífero, sino a la utilización de caudales provenientes de fuera de la subregión que son captados en el modelo por la variable *EVT* que, sumada a *Esc*, excede el valor de *P*.

En cuanto a la disponibilidad superficial en el caso de la SRH-RSJ, los menores valores se observan en el norte y en el noreste de la subregión. Para la SRH-VM se observa una predominancia de valores bajos de disponibilidad superficial en comparación con

los valores de las otras subregiones ($<1 \text{ Mm}^3/\text{año}$ por municipio). Estos valores, sin embargo, son suficientes para producir encharcamientos e inundaciones con gran frecuencia (prácticamente diaria). Este factor es otro elemento que caracteriza la enorme crisis del agua en esta zona densamente poblada.

En el caso de la SRH-BG, las partes norte y sur son las que presentan la menor disponibilidad superficial. Esto se explica esencialmente por la presencia de cuerpos de agua que absorben el escurrimiento superficial y, dado que el modelo sólo registra escurrimiento sobre áreas no inundadas, los valores resultan bajos. En esta subregión, Pichualco es el municipio con los mayores valores de disponibilidad superficial (mayores a $40 \text{ Mm}^3/\text{año}$).

Comparación entre los resultados de disponibilidad subterránea por municipios de la subregión y la disponibilidad por acuíferos expresada por la Conagua

En el mapa 3 se presenta una comparación entre los valores de disponibilidad subterránea obtenidos mediante la MAEPR a escala municipal y los valores correspondientes de la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018) a escala de acuíferos.

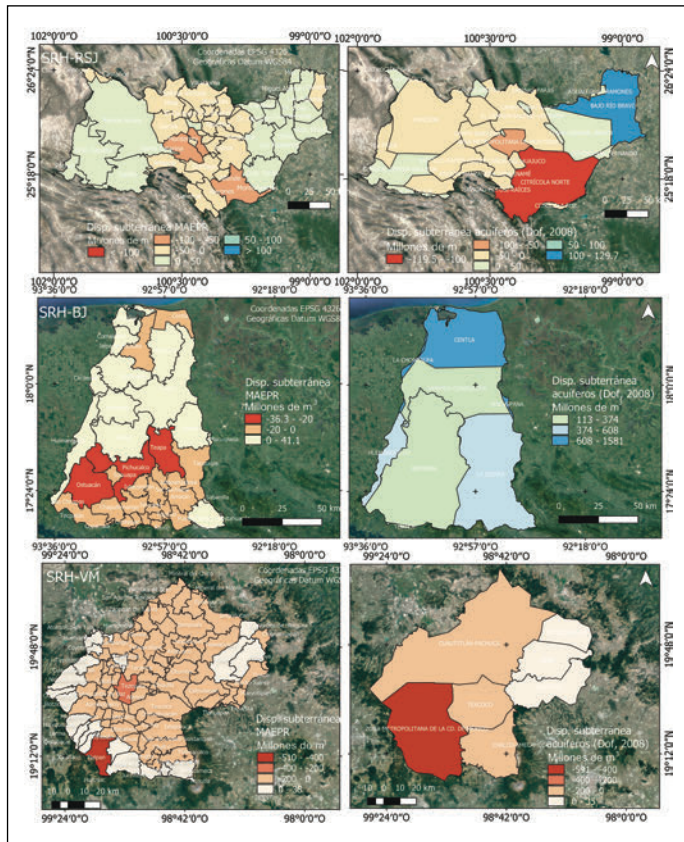
Los últimos están cortados para la subregión. Para los casos de la SRH-RSJ y SRH-BG se incluyen los límites de los municipios, mismos que no corresponden a los límites de los acuíferos que están indicados por colores. El patrón espacial que presentan ambas variables es coincidente en buena medida para las SRH-RSJ y SRH-VM. La escala de valores también es coincidente. En el caso de la SRH-RSJ, las disponibilidades subterráneas con valores de 0 a $50 \text{ Mm}^3/\text{año}$ se ubican coincidentes en ambas capas espaciales en la parte central de la subregión.

En este caso, valores más altos entre (0 y $-50 \text{ Mm}^3/\text{año}$, mostrado en verde) se pueden observar flanqueando los valores de 0 a $-50 \text{ Mm}^3/\text{año}$ (mostrado en naranja claro). También es coincidente que los valores menores se encuentren en ambos casos en la parte sureste de la subregión. Se trata, en el caso de los resultados, de valores de entre -100 a $-50 \text{ Mm}^3/\text{año}$; y en los datos de la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018), de valores de $< -100 \text{ Mm}^3/\text{año}$. La mayor discordancia se observa al este de la subregión, donde para la Conagua hay alta disponibilidad ($> 100 \text{ Mm}^3/\text{año}$), y en los resultados de esta investigación, los valores en esa zona son negativos (de 0 a $-50 \text{ Mm}^3/\text{año}$).

En cuanto a la SRH-VM, también es posible observar un patrón espacial coincidente entre los valores comparados. En ambos casos predominan las áreas en color naranja con disponibilidades de 0 a $-200 \text{ Mm}^3/\text{año}$, ubicadas éstas al norte, centro, sur y sureste de la subregión. La zona de menor disponibilidad (valores de $< -400 \text{ Mm}^3/\text{año}$) es también coincidente, aunque para el caso de los datos sobre los acuíferos de la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018) el

cobrimiento espacial es mucho mayor que para los resultados de esta investigación, que incluyen sólo la alcaldía Tlalpan en la Ciudad de México, con el valor de sobreexplotación mayor y para la Conagua es todo el acuífero.

Mapa 3. Comparación entre los valores obtenidos de disponibilidad subterránea por municipio y la disponibilidad por acuífero oficial para las subregiones de estudio



Nota: El valor de disponibilidad subterránea por municipios fue obtenido con MAEPR. Google satellite © se toma como marco geográfico.

Fuente: Elaboración propia con base en Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018.

La mayor discordancia en este caso se observa nuevamente en el oeste de la subregión, donde para la Conagua existe disponibilidad positiva (de 0 a $-35 \text{ Mm}^3/\text{año}$) y en el caso que se estudia aquí, se estiman disponibilidades negativas (de -200 a $0 \text{ Mm}^3/\text{año}$). Para el caso de Bajo Grijalva, el patrón espacial es el menos coincidente

de las tres subregiones analizadas y también la escala del parámetro, que para la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018) va de 113 a 1 581 Mm³/año y en el caso del presente estudio es de -36 a 41 Mm³/año. Aquí se observa la presencia de valores negativos de disponibilidad, esencialmente en los municipios ubicados al sur de la subregión.

Como se ha comentado, no es atribuible en este caso a la sobreexplotación, sino a los caudales que se registran como *ETR* en el modelo propuesto aquí, pero que no provienen de *P*, sino esencialmente de aportes externos de *Esc* fuera de la subregión. Otros factores importantes son la presencia intensa de cuerpos de agua y el hecho de que MAEPR ocupa imágenes ópticas para estimar disponibilidad superficial, particularmente para la obtención de *ETR* lo que en una zona con alta presencia de nubosidad es una desventaja. Esta hipótesis se fortalece por el hecho de que la metodología funcionó mejor para las otras subregiones que presentan mucha menor nubosidad.

De acuerdo con los resultados que se obtuvieron, el municipio Centro destaca con la mayor disponibilidad subterránea positiva. Respecto a los datos de la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018), los valores comparados son siempre positivos, pero este municipio registra los menores valores en relación con los demás municipios. Parte de las diferencias observadas para las tres subregiones en términos del patrón espacial de las variables comparadas, puede deberse en buena medida al proceso de agregación espacial de los datos por acuíferos para la Conagua; y en el caso aquí expuesto, por municipios.

La estimación de disponibilidad subterránea a nivel de acuífero de la Conagua maneja condiciones estáticas anualizadas. En términos temporales, estos valores son comparables con los de esta investigación, dado que también son valores anualizados (promedio de valores anuales de 2000 a 2012). El hecho de que haya coincidencia en el patrón de distribución espacial observado en las determinaciones comparadas permite concluir que se eligió un período representativo de períodos mayores, como los que utiliza la Conagua para sus determinaciones anualizadas estáticas. En términos espaciales, también se afirma que la comparación es válida. Se compara la misma extensión territorial: las subregiones agrupadas en unidades territoriales diferentes; en un caso, acuíferos; y en el otro, municipios.

Esto se puede justificar, por un lado, porque no se cuenta con datos oficiales de disponibilidad subterránea por municipios para hacer una comparación directa con los resultados que se obtuvieron aquí. Por otra parte, se hizo de esa manera porque sólo fue posible estimar esta disponibilidad por municipio, dado que así es como se reportan las *Ext*. Aunque esta estimación no puede ser concluyente, sí se cree que es posible comparar el patrón de distribución espacial de ambas determinaciones para efectos de establecer si hay o no similitudes en ese patrón. Dado lo complejo que es encontrar una estrategia de validación que no presente inconvenientes, se

afirma que la manera de comparar los valores en este trabajo permite definir que el método aquí propuesto arroja valores esperables del parámetro en cuestión, particularmente, para las subregiones ubicadas al norte y centro del país.

Conclusiones

Con esta investigación se generó una metodología basada en PR y en AE que puede considerarse robusta, debido a que coincide en buena medida con métodos de cálculo basados en la NOM-011-CNA-2000, en estimaciones de P utilizando interpoladores tipo *spline* y en cálculos de *EVT* utilizando modelos tradicionales como el Turc, a pesar de que la metodología presentada (MAEPR) utilizó los promedios anuales a los que se tiene acceso de 12 años, en función de la disponibilidad de los productos satelitales, y a pesar de que la otra metodología utilizó promedios de 30 años. Es posible afirmar que la metodología propuesta puede brindar elementos para una toma de decisiones espacialmente diferenciada, utilizando una docena de datos anuales secuenciales.

La MAEPR es interesante porque la *ETR* satelital utilizada registra cantidades de agua que pueden provenir de agua de lluvia o de otras *Fext*. La metodología desarrollada también apoya su solidez en las coincidencias observadas al comparar sus resultados con los valores obtenidos del denominado ME y con datos oficiales reportados por la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018) particularmente para las SRH-RSJ y SRH-VM. Otro elemento que apoya la validez del método desarrollado son los antecedentes de investigación (revisados previamente en este manuscrito), que indican que los parámetros del balance hídrico pueden estimarse usando PR y AE, en comparación con métodos tradicionales que difícilmente llegan a exactitudes semejantes.

En las subregiones Bajo Grijalva y Valle de México, *Bal* depende primordialmente de cuánto llueve; y en el caso de la SRH-RSJ, de *Esc*. Para las dos primeras, se trata un descubrimiento interesante, ya que con un R^2 bastante alto se explica *Bal* sólo por P , lo que posibilita la estimación de efectos del cambio climático en el balance hidrológico, tomando sólo como variable predictora P . Al restarle *Ext* a *Bal* por municipio, para obtener la disponibilidad subterránea, en general se mantiene el mismo patrón espacial observado para *Bal*. Para la SRH-RSJ puede observarse que los municipios con valores de *Bal* mayores siguen siendo los que tienen las disponibilidades subterráneas mayores (General Terán, Ramos Arizpe, General Cepeda y China). En el caso de la SRH-VM, la situación es crítica, dado que a pesar de que se observa recarga, los valores de *Ext* son de tal magnitud, que al final la disponibilidad subterránea resulta en sólo valores negativos. Destaca la alcaldía Tlalpan, donde se observa un enorme desbalance entre lo que se recarga y lo que se extrae. En el caso de la SRH-BG, el patrón espacial de *Bal* y el de disponibilidad

subterránea por municipio también son semejantes. Los municipios con el mayor valor son los municipios de Centro y de Reforma.

En cuanto a la disponibilidad superficial en el caso de la SRH-RSJ, los menores valores se observan en el norte y en el noreste de la subregión. En la SRH-VM se observa una predominancia de valores bajos de disponibilidad superficial. Estos valores, sin embargo, son suficientes para producir encharcamientos e inundaciones con gran frecuencia (prácticamente todos los días en la época de lluvias). Este factor es otro elemento que caracteriza la crisis del agua en esta zona densamente poblada. En el caso de la SRH-BG, la parte norte y la parte sur son las que presentan la menor disponibilidad superficial, pero esto está asociado con la gran presencia de cuerpos de agua que absorben el agua, de modo que ésta no escurre sobre las áreas no inundadas.

Los resultados de las disponibilidades subterráneas obtenidos con la MAEPR coinciden en buena medida con los datos oficiales sobre los acuíferos para las SRH-RSJ y SRH-VM, publicados por la Conagua (Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad, 2018). Los efectos de la agregación espacial por municipios en nuestro caso y por acuíferos en el caso de la estimación de disponibilidad subterránea –además de los métodos poco actualizados que se aplican en la Conagua– pueden explicar las discordancias observadas.

Se concluye que el método desarrollado puede ser útil con fines de estimación de la disponibilidad de agua para zonas ubicadas al norte y centro del país, como una alternativa viable a los inconvenientes de los modelos de base física aplicable a las cuencas no instrumentadas, a las que están reduciendo las capacidades de sus redes de medición, o a ambas. El método de obtención de disponibilidad superficial funcionó bien para la SRH-BG, por lo que puede ser probada para ese fin en zonas similares. Entre otras ventajas, la metodología desarrollada permite capturar la variabilidad espacial de los parámetros hidrológicos y evitar problemas, como el de la parametrización de modelos, que resulta en ocasiones compleja o poco realizable. Sin embargo, para cálculo de disponibilidad subterránea para regiones como la SRH-BG MAEPR aún debe ajustarse.

La metodología desarrollada puede ser aplicada exitosamente en ambientes diversos (de nuestro país y fuera de él), dado que se acopla a ellos y porque normalmente se dispone de la información geográfica requerida para su funcionamiento. Se considera que tener una metodología alterna que permita hacer las estimaciones creíbles de disponibilidad, que ocupe pocos datos medidos en campo y alrededor de una decena de series temporales anuales de la distribución espacial de los parámetros hidrológicos, da buen resultado y permite obtener información útil en cuanto a la disponibilidad del recurso para favorecer una gestión sustentable del agua y una mejor toma de decisiones espacialmente diferenciadas para el manejo del recurso.

Referencias

- 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. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 4 de enero de 2018. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04%2F01%2F2018.
- Adler, R. F., Wang, J., Gu, G. y Huffman, G. J. (2009). A ten-year rainfall climatology based on a composite of TRMM products. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 87A(II), 281-293. Recuperado de <https://doi.org/10.2151/jmsj.87A.281>
- Bailey, T. C. y Gatrell, T. (1995). Interactive Spatial Data Analysis. *Ecology*, 22(8). doi: 10.1016/S0098-3004(96)80468-7
- Beven, K. (2006). A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of Hydrology*, 320 (1-2), 18-36. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.007>.
- Bunge, V. (2010). La disponibilidad natural de agua en las cuencas de México. En Cotler, H. (coord.), *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización* (pp. 46-49). México: Semarnat/INE/Fundación Gonzalo Río Arronte. Recuperado de <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/639/disponibilidad.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua)-Subdirección General Técnica. (2007). *Subregiones Hidrológicas, escala 1:250 000*. República Mexicana. Ciudad de México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2009). *Estadísticas del agua en México 2008*. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM_2008.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (19 de octubre de 2017a). *Disponibilidad media de agua superficial, por cuenca de Conagua* [base de datos]. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/disponibilidad-de-agua-superficial-de-conagua>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (19 de octubre de 2017b). Disponibilidad de agua por acuífero. Valores de los términos que intervienen en su determinación conforme a la NOM-011-Conagua-2003. Mapa que muestra la ubicación de los acuíferos que tienen disponibilidad de agua y de los que son deficitarios de Conagua. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/disponibilidad-de-agua-subterranea-de-conagua>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2013). *Estadísticas del agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII. Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México*. México: Semarnat/Conagua. Recuperado de http://www.cmec.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/estadisticas/Estadisticas_2014-2018/Publicaciones-2014/Estad%C3%ADsticas%20del%20

- Agua%20de%20la%20Regi%C3%B3n%20Hidrol%C3%B3gico-Administrativa%20XIII-2014%20OCAVM-1-14.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) y Banco Mundial. (2015). *Cutzamala diagnóstico integral*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110933/Cutzamala_Diagnostico_integral_parte_1.pdf
- Corbari, C., Mancini, M., Su, Z. y Yand Li, J. (2014). Evapotranspiration estimate from water balance closure using satellite data for the Upper Yangtze River basin. *Hydrology Research*, 45(4-5), 603-614. Recuperado de <https://doi.org/10.2166/nh.2013.016>
- Endreny, T. A., Somerlot, C. y Hassett, J. M. (2003). Hydrograph sensitivity to estimates of map impervious cover: a Win HSPF BASINS case study. *Hydrologic Processes*, 17(5), 1019-1034. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/hyp.1178>
- Hengl, T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping*. Recuperado de <http://spatial-analyst.net/book/download?size=thumbnail>
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística (Inegi). (2007). *Edafología* [base de datos]. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/default.html#Descargas>
- Karimi, P. y Bastiaanssen, W. G. M. (2015). Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting. Part I: Review of the accuracy of the remote sensing data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 507-532. Recuperado de <https://doi.org/10.5194/hess-19-507-2015>
- Lettenmaier, D. P., Alsdorf, D., Dozier, J., Huffman, G. J., Pan, M. y Wood, E. F. (2015). Inroads of remote sensing into hydrologic science during the WRR era. *Water Resources Research*, 51(9), 7309-7342. doi: 10.1002/2015WR017616
- Lin, A. y Wang, X. L. (2011). An algorithm for blending multiple satellite precipitation estimates with in situ precipitation measurements in Canada. *Journal of Geophysical Research*, 116(D21), 1-19. doi:10.1029/2011JD016359
- Mbulisi, S., Dube, T., Seutloali, K. y Adelabu, S. (2015). Operational applications of remote sensing in groundwater mapping across subSaharanAfrica, *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 70(2), 173-179. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/0035919X.2015.1017024>
- Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 19, 205-234.
- Mu, Q., Heinsch, F. A., Zhao, M. y Running, S. W. (2007). Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment*, 111(4), 519-536. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.04.015>
- Mu, Q., Zhao, M. y Running, S. W. (2011). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115(8), 1781-1800. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019>

- National Center for Atmospheric Research Staff. (2017). The Climate Data Guide. Recuperado de <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ceres-igbp-land-classification>
- Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 17 de abril de 2002. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/06/NOM-011-CNA-2000.pdf>
- Reitz, M., Senay, G. B. y Sanford, W. E. (2017). Combining Remote Sensing and Water-Balance Evapotranspiration Estimates for the Conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(12) 1181, 1-17. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/rs9121181>
- Remenieras, G. (1971). *Tratado de Hidrología Aplicada*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2011). *Cubo portátil de información de los Usos del agua*. México: Semarnat/Conagua/Subdirección General de Programación.
- Tapia-Silva, F. (2010). Avances en geomática y tecnología geoespacial para la resolución de la problemática del agua en México. En O. Spring, I. Sánchez Cohen, P. Pérez, A. Martín, J. Garatuza, E. Gómez y C. Watts (edits.), *Retos de la investigación del agua en México* (pp. 193-206). Ciudad de México: RETAC/Conacyt.
- Tapia-Silva, F., Silván-Cárdenas, J. L. y Rosales-Arriaga, E. (2013). Análisis espacial, hacia una utilización mejorada de la información medida en campo y por satélites para apoyar la toma de decisiones en materia hídrica y ambiental. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(1), 149-166.
- Wang, X. L. y Lin, A. (2015). An algorithm for integrating satellite precipitation estimates with in situ precipitation data on a pentad time scale. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 120(9), 3728-3744. doi: 10.1002/2014JD022788
- Xin, Y., Li, J. y Cheng, Q. (2007). Automatic Generation of Remote Sensing Image Mosaics for Mapping Large Natural Hazards Areas. En J. Li, S. Zlatanova y A. Fabbri (coords.), *Geomatics Solutions for Disaster Management* (pp. 61-73). Berlin: Springer.
- Zhang, K., Kimballand, J. S. y Running, S. W. (2016). A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. *Wires Water*, 3(6), 834-853. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/wat2.1168>

Principales usos competitivos del agua en las tres subregiones de estudio

DE LA ESCASEZ A LA ABUNDANCIA: PANORAMA ACTUAL DEL USO AGRÍCOLA DEL AGUA EN TRES SUBREGIONES HIDROLÓGICAS DE MÉXICO

M. Azahara Mesa-Jurado / Sergio Colín Castillo / Myriam Astrid Botero-Arias

Introducción

El principal uso del agua en México, como en el resto del mundo, es el agrícola. El país ocupa el decimotercer lugar de la producción agrícola mundial. Su agricultura contribuye con 8.4 por ciento del producto interno bruto (PIB) de México y emplea 23 por ciento de la población activa, cifras que evidencian la gran importancia que tiene para la economía mexicana (Olvera-Salgado, Bahena-Delgado, Alpuche y García, 2014). De un estimado de 22 millones de ha de superficie agrícola,¹ 25 por ciento es bajo riego (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2015; World Bank, 2009), con un rendimiento superior a la agricultura de temporal. En efecto, en 2013, el rendimiento de maíz grano, sorgo grano y frijol bajo riego fue de 2.2 a 3.3 veces mayor que el de los cultivos de temporal (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2016a).

A escala global, México es considerado un país de baja disponibilidad, ya que 56 por ciento del país está clasificado como semiárido (Cervantes, 2002; World Bank, 2009). Además, presenta una desigual distribución del agua, lo que hace necesario el uso del riego en las actividades, en aproximadamente 63 por ciento del territorio mexicano (Soto-Mora, 2003). Del escurrimiento superficial, 50 por ciento ocurre en el sureste (20 % del territorio), mientras que en el norte (30 % del territorio) ocurre sólo 4 por ciento. Así, en la frontera sur, la disponibilidad promedio es mayor a 24 000 m³/habitante/año. En la Subregión Hidrológica Río Bravo (SRH-RB) no llega a los 1 500 m³/habitante/año y en Baja California es de alrededor de 1 100 m³/habitante/año (Siagua, 2017).

¹ En 2014 esta cifra creció a 26.9 millones de ha, incluyendo segundos cultivos, con una producción que fluctúa entre 250 millones (SIAP, 2015) y 192 millones de toneladas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2017).

Paradójicamente, la zona norte presenta mayor productividad y mayor infraestructura agrícola que el sur. A la desigualdad en la distribución y en la disponibilidad del agua, habría que sumar las variaciones en los ciclos hídricos a causa del cambio climático, situación que supone retos enormes para la producción agrícola (Moreno, Aguilar y Luévano, 2011; Soto-Mora, 2003; World Bank, Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT] y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 2014). Pero este problema se complejiza si consideramos que detrás de estas características existen matices económicos y sociales muy particulares.

En general, la agricultura del norte se desarrolla a mayor escala y se orienta a satisfacer las necesidades del mercado, incluidas las exportaciones, mientras que en la zona sur, la mayoría de las explotaciones son a menor escala; es decir, es una agricultura campesina más orientada al autoconsumo. Pero si bien el perfil de los productores de las zonas de riego se define en parte por estos rasgos de producción y de orientación de mercado, incluidas las características naturales antes mencionadas, no deja de llamar la atención el papel que desempeña la administración del agua que se hace desde las oficinas de gobierno.

Existe un entramado muy complejo y muy relevante de reglas, instituciones y organismos alrededor del uso del agua. Sin duda, tal y como señalan Sosa-Rodríguez y Castro-Ruiz en el noveno capítulo de este libro «Evaluación de la gestión integrada de los recursos hídricos: Retos y avances» (2020, pp. 255-283), la oficina más importante es la Conagua. Es la que más influye en el manejo y en la operación de los distritos y unidades de riego.

Sin ser concluyentes a este respecto, dadas las limitaciones de este estudio, no ha sido posible abordar este punto con mayor profundidad. Se especula que para el período de análisis, los productores que han sido capaces de aprovechar los programas y las ayudas que ofrece la Conagua en coordinación con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y organismos estatales encargados del desarrollo agropecuario, son aquellos que se han adaptado mejor a una lógica empresarial o de mercado, sin importar si se trata de la región norte, centro o sur. Es decir, los productores que se benefician más de los apoyos del gobierno son aquellos que en mayor medida procuran cultivos más rentables y orientados al mercado, y que tienen la capacidad financiera de aportar la contraparte que se requiere para participar en los programas de apoyo, a diferencia de los que tienen un perfil de producción campesina destinada preferentemente al autoconsumo. Todo lo anterior plantea la necesidad apremiante de reformar estructuralmente el sector y de buscar mejores y más eficientes sistemas de riego para el uso óptimo de las fuentes de agua existentes (Sifuentes-Ibarra, Ojeda-Bustamante, Rojano, Íñiguez-Covarrubias, 2012).

Tal y como se analiza en el octavo y noveno capítulo de este libro, los principios que rigen la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) se incorporan de manera parcial a los marcos normativos que rigen la gestión del agua en las regiones de

estudio, conclusión que se puede extender a escala nacional, reconociendo en los hechos una gestión del agua sectorizada, con una visión operativa y cortoplacista. Esa situación obstruye la visión de cuenca y limita el uso sustentable del recurso (ver capítulo nueve). El sector agrícola no es la excepción. La planeación y la gestión del agua de riego se conciben a nivel federal a través de la Conagua, sin considerar adecuadamente la integración de los flujos entre sectores y los efectos inherentes que conlleva el uso agrícola. El resultado es que, en la práctica, la mayor parte de las decisiones que se toman, se llevan a cabo a nivel de distrito de riego o unidad de riego, sin seguir las directrices de una gestión integral con visión de cuenca.

Con base en lo expuesto en la introducción del presente libro, este capítulo pretende analizar el uso del agua en el sector agrícola, considerando una disponibilidad limitada y asimétrica entre las distintas subregiones de estudio. En este contexto, se proponen una serie de indicadores y una compilación estadística estimada específicamente para las regiones de estudio, buscando caracterizar y cuantificar los volúmenes de agua que demanda el uso agrícola. Se exponen brevemente algunas medidas, enfatizando para cada subregión hidrológica lo relacionado con la productividad y la eficiencia agronómica, puntos relevantes para la gestión del agua de uso agrícola.

Finalmente, se integran la información y los indicadores, buscando armonizar las conclusiones y recomendaciones en un trabajo comparativo que intenta rescatar los puntos nodales, elementos clave que bajo ciertas situaciones particulares o específicas de cada subregión permitan responder a las preguntas: ¿qué funciona y qué no funciona para la gestión del agua de uso agrícola? O, alternativamente: ¿qué medidas de política podrían funcionar para lograr una mejor gestión? Con estos elementos se espera brindar información valiosa para los tomadores de decisiones y contribuir a la gestión integral del agua.

Infraestructura hidroagrícola en México

La superficie bajo riego en México ocupa el séptimo lugar mundial con aproximadamente 6.5 millones de ha (Conagua, 2016a): 67 por ciento se riegan con agua superficial, y 33 por ciento, con agua subterránea (Siagua, 2017). La gestión de la infraestructura de riego gira en torno a tres tipos de organizaciones contempladas en la Ley de Aguas Nacionales: los distritos de riego (DR), las unidades de riego (UR) y los distritos de temporal tecnificado (DTT).

En 2016 se tenía el registro de 86 DR (ver mapa 1), los cuales cubren 51 por ciento de la superficie agrícola con 450 948 usuarios y 3.29 millones de hectáreas, de las cuales 2.39 millones fueron regadas con 27 000 hm³ de agua. En ese año, el valor global de la cosecha fue de 112 000 millones de pesos, lo que significó una productividad de 4.17 pesos/m³ (Conagua, 2016c). La mayoría de los DR (44) se

localiza en el norte del país. Chihuahua, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora son los estados con mayor cantidad de DR establecidos. En ellos se cultivan principalmente maíz grano y trigo (Conagua, 2016c). A pesar de la importancia de los DR en la producción de alimentos y en el consumo del agua, presentan problemas de gestión: fallas de infraestructura, baja eficiencia de conducción y distribución del agua de riego en los canales, exceso de agua (lámina de riego) utilizada por cultivo e ingresos insuficientes para operación y mantenimiento (Altamirano-Aguilar *et al.*, 2017; Mejía, Palacios, Exebio y Santos, 2002). Tal y como señalan Sosa-Rodríguez, Castro Ruíz y Sotelo Núñez en el octavo capítulo de este libro «La implementación del modelo de gestión integrada de los recursos hídricos en las subregiones de estudio y sus retos en materia institucional y legal» (2020, pp. 223-253), en el marco normativo de las entidades federales analizadas, excepto para el caso de Hidalgo, el uso agrícola no es prioritario, ya que en la mayoría de los casos el uso industrial ocupa un nivel preferente respecto al sector agrícola.

El número de UR para el año agrícola 2013-2014 se estimaba en 40 407 y cubriría 3.2 millones de hectáreas (ver mapa 2) las cuales produjeron 81.5 millones de toneladas, con valor de 154.9 millardos de pesos, lo que significa 5.03 pesos/m³ (Conagua, 2016c). Los estados con mayor UR sembradas son Chihuahua, Tamaulipas, Guanajuato, Michoacán y Sinaloa, principalmente con sorgo grano, maíz grano blanco y caña de azúcar industrial. A pesar de que las UR cubren 49 por ciento de la superficie de riego del país y su productividad es superior a la de los DR, se tiene poca información sobre ellas, ya que muchas no presentan una organización formal, lo que dificulta su registro y monitoreo (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y Seguridad Alimenticia [CEDRSSA], 2015; Silva-Ochoa, Quijada-Urbe, Monsalvo-Velásquez y Ramírez-Calderón, 2000).

Las UR presentan problemas que intensifican las deficiencias en el manejo del agua, tales como escasa organización, poca capacitación, insuficiente asistencia técnica y bajo uso de paquetes tecnológicos. Aunque se reconoce que la tecnificación del riego (goteo, aspersión) es mayor en la UR que en los DR, se debe evaluar dicha infraestructura, sus requerimientos y sus aspectos sociales (CEDRSSA, 2015). Algunos estudios estiman que las UR requieren un volumen bruto de 34 086 millones de metros cúbicos, utilizando una lámina media bruta de 115 cm y considerando eficiencias totales (de conducción y aplicación) de 49 por ciento en aguas superficiales y de 64 por ciento en aguas subterráneas (CEDRSSA, 2015). Se considera que las UR tienen mayores probabilidades para mejorar la productividad agrícola que los sistemas de riego a gran escala (Silva-Ochoa *et al.*, 2000). Las principales características de los DR y UR se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los distritos y unidades de riego

<i>Característica</i>	<i>Distrito de riego</i>	<i>Unidad de riego</i>
Superficie (ha)	Mayor a 2 000.	Menor a 500.
Propiedad infraestructura	Federal.	Particular, ejidal o ambas.
Propiedad de la tierra	Particular, ejidal o ambas	Particular, ejidal o ambas.
Cantidad	86	40 407
Organización de usuarios	Asociación civil de usuarios.	Organizaciones no formales.
Título de concesión	Agua, infraestructura y maquinaria.	Agua.
Supervisión de operación	Permanente por la Conagua.	Eventual.
Planificación de riego	Plan de riego autorizado por la Conagua.	Indefinido.
Entorno económico	Influencia regional, estatal.	Influencia local.
Cuotas de riego	Se entregan parcialmente a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y para uso de la asociación civil de usuarios (ACU).	Son de uso particular.
Régimen legal asociación	Código civil del estado.	Usos y costumbres.
Origen del agua	Presas 64 %, mixto (superficial-subterráneo) 12 %, de ríos 11 %, pozos profundos 10 %, plantas de bombeo 2 % y manantiales 1 %.	Pozo profundo 47 %, de ríos 20 %, presas 14 %, plantas de bombeo 10 %, manantiales 6 % y mixto 3 %.

Fuente: Elaboración propia a partir de CEDRSSA (2015) y Pedroza e Hinojosa (2014).

En cuanto a los DTT, éstos tienen como finalidad mitigar los daños a la producción agrícola por las fuertes lluvias y, en condiciones de escasez, aprovechar con mayor eficiencia la lluvia y la humedad mediante el uso de técnicas y obras agrícolas (Carrillo y Espinoza, 2009). Se ubican en las planicies del trópico húmedo y subhúmedo de México, zonas de alta precipitación pluvial (promedio 1 700 mm/año) y abarcan toda la franja del golfo de México y la región sur-sureste del país. Comprenden 23 por ciento del territorio nacional, más de 46 millones de hectáreas, de las cuales 7.5 millones están en planicies de alto y mediano potencial agropecuario.

El país tiene 23 DTT distribuidos en nueve estados (ver mapa 3), 20 de ellos en la zona sur: seis en Chiapas, cinco en Tabasco, cuatro en el centro-sur de Veracruz, dos en Campeche, dos en Yucatán y uno Quintana Roo, y los tres distritos restantes se encuentran en Tamaulipas, San Luis Potosí y Nayarit. No obstante, la mayor superficie sembrada se encuentra en Tamaulipas, seguida de Chiapas y Tabasco (Conagua, 2016c) en 2015. Los DTT ocupaban 2.8 millones de hectáreas y tienen 125 300 usuarios. En dicho año, la producción fue de 23 000 toneladas, en una superficie

sembrada de 1.8 millones de hectáreas, y generó un valor de 24.9 millones de pesos. Los principales cultivos en los DTT son pastos, sorgo y maíz (Conagua, 2016c).

Programas de apoyo a la infraestructura hidroagrícola

El sector gubernamental reconoce la importancia de la tecnificación y de la modernización de las áreas de riego para aminorar el gasto del agua e incrementar los rendimientos agrícolas por unidad de agua consumida. Para tal fin, el gobierno realiza programas de evaluación y transformación del riego con apoyos monetarios para su tecnificación (Conagua, 2017; Sagarpa, 2016 y 2017). Uno de ellos es el Programa de Fomento a la Agricultura, mediante el cual se apoya la instalación de sistemas de riego y drenaje (Sagarpa, 2017). El Programa de Apoyo a la Infraestructura Hidroagrícola se compone de cuatro subprogramas: 1) Distritos de Riego; 2) Temporal Tecnificado; 3) Unidades de Riego; y 4) Apoyos Especiales y Estratégicos de Rehabilitación, Modernización, Tecnificación y Equipamiento (Conagua, 2017).

En el período de 2008 a 2012, el Proyecto Estratégico de Tecnificación de Riego (PETR) reportó la tecnificación de 313 293.61 ha. Se beneficiaron 15 865 productores a través de 8 522 proyectos, y se estimó un ahorro de 626.59 hm³. Se ejercieron 3 673.64 millones de pesos de recursos y 84.31 millones de pesos en gastos de ejecución. Los principales sistemas de riego que se apoyaron fueron de aspersión y goteo y en menor medida de compuertas, válvulas alfareras y microaspersión (Sagarpa, 2012). De manera general, el perfil del productor que puede tener acceso a los programas de apoyo corresponde a un perfil con orientación al mercado y que cuenta con capacidad financiera para poder aportar la contraparte que se requiere para la implementación o mejora de los sistemas de riego. No obstante, existe el caso de productores que a través de un entramado de apoyos logran la reconversión de sus parcelas y tienen el acceso a sistemas de riego sin tener la certeza de poder hacer frente a los costos de operación a largo plazo (Yedra, Mesa-jurado, López-Morales y Castillo, 2016).

Análisis del uso del agua en el sector agrícola de las tres subregiones

Con la finalidad de realizar un análisis comparativo del uso agrícola del agua en México en las tres subregiones de estudio ubicadas en el norte, el centro y el sur del país (véase el primer capítulo de este libro) –Bajo Bravo-Río San Juan (SRH-RSJ), Valle de México (SRH-VM) y Bajo Grijalva (SRH-BG)–, se recopiló la información disponible para cada subregión consultando el Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2007), el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (SIAP, 2017) y las estadísticas agrícolas de los

DR, de las UR y de los DTT correspondientes al período comprendido entre 2009 y 2015 (Conagua, 2010a).

La información hidrométrica de los DR se obtuvo del portal de las estadísticas agrícolas e hidrométricas (Conagua, 2012b). La información relacionada con la cantidad y la ubicación de las UR, el volumen de agua concesionado, la eficiencia de distribución y conducción y las tarifas fue solicitada mediante la plataforma nacional de transparencia² (Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales [Inai], 2017). Se resalta la dificultad que conlleva obtener toda la información que aquí se presenta, tanto a escala municipal como de DT, UR y DTT, ya que, tal como se menciona en el noveno capítulo de este libro, existen deficiencias en el monitoreo y falta transparencia en el manejo de la información resultante del mismo.

Para delimitar el área de estudio, sólo se tomaron en cuenta aquellos municipios que tuvieran 10 por ciento o más de su superficie dentro de la subregión hidrológica. Para la delimitación de subregiones hidrológicas se empleó el *shapefile* de subregiones hidrológicas de 2007 (Conagua, 2007); y para los municipios, el *shapefile* de división política municipal de 2016 (Inegi, 2016). Las cifras que se presentan se han estimado exclusivamente para los municipios localizados en las subregiones de estudio. En un primer paso, se calcularon las superficies (temporal y riego), así como el valor de la producción que ocupaban los diferentes cultivos en los municipios de las regiones de estudio. En un segundo paso, se seleccionaron para el análisis aquellos cultivos que por superficie o valor de la producción son los principales para cada región de estudio.

Caracterización de las subregiones de estudio

El caso del norte: subregión hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

La SRH-RSJ tiene una superficie agrícola de 589 061 ha y 17 937 unidades de producción, de las cuales 103 804 ha y 4 353 unidades son de agricultura de riego (Inegi, 2007). En la subregión predominan los climas que van de áridos a semiáridos. La precipitación media anual oscila entre 495 mm y 520 mm, situación que muestra escasez intensa, con problemas entre los usos y los usuarios, tanto en el ámbito municipal como en el agrícola y el ambiental (Návar-Cháidez, 2011; Návar-Cháidez y Rodríguez, 2002).

² En algunos casos no se obtuvo respuesta de la instancia a la cual se dirigía la petición. Se nos informaba que correspondía a otra instancia y obteníamos a su vez la misma respuesta de la instancia que nos sugerían. Por lo tanto, esto viene a confirmar lo que se menciona en el noveno capítulo de este libro acerca de la descoordinación entre las instancias que se encargan de la gestión del agua. En el caso del estudio del uso agrícola, el problema se presentó en la Conagua y en la Sagarpa.

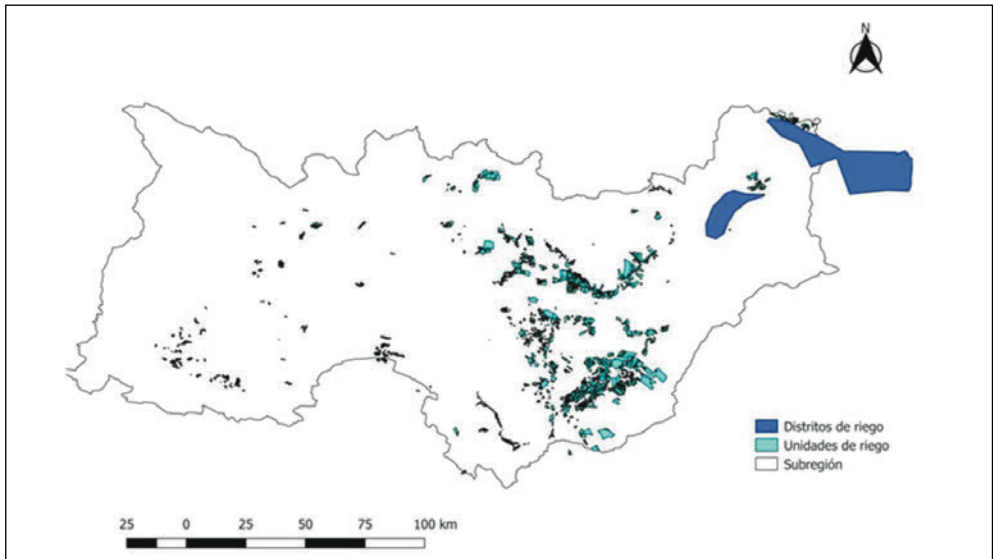
El uso consuntivo para la agricultura de riego, tomando en cuenta la precipitación media anual (de 495 mm a 520 mm) en esta subregión, es de 1 200 mm³ por año, y en períodos de sequía, 1 700 mm³ por año, cantidad superior a la precipitación media anual (Návar-Cháidez y Rodríguez, 2002). Además, la presión sobre el recurso se intensifica por el crecimiento de la población, la sequía y la contaminación (ver el octavo capítulo de este libro). En efecto, el río San Juan, la principal fuente de riego, se considera el tercer río más contaminado del país por su alta concentración de metales pesados (Návar-Cháidez, 2011; Návar-Cháidez y Rodríguez, 2002).

Para cubrir la demanda del agua en la subregión, se considera clave el incremento de la eficiencia en el uso agrícola, el mayor usuario, aunque, como se expone en el octavo capítulo de este libro, no está considerada en el marco normativo la prioridad en el uso para el sector. Sin embargo, la eficiencia global del transporte de agua del distrito 026-Bajo Río San Juan –el principal de la zona– está en el rango de 32 a 36 por ciento, el riego superficial (principal sistema en la subregión) tiene una eficiencia de 70 por ciento, y la eficiencia por cultivo es de aproximadamente 60 por ciento. El cambio tecnológico hacia el sistema de riego (por ejemplo, el goteo), así como la mejora de la infraestructura, permitiría un ahorro de hasta 200 mm de agua al año (Návar, 2001 y Návar-Cháidez 2011). No obstante, teniendo en cuenta la gestión integral del agua, al aumentar la eficiencia del riego también se disminuyen los retornos de agua al subsuelo que permiten la recarga de acuíferos a través del riego superficial. Sin embargo, en climas áridos, como el de la zona de estudio, parte del agua se pierde por la evaporación, de modo que disminuyen los retornos al ciclo.

En relación con la infraestructura para el riego, en esta subregión se ubican dos DR: 031-Las Lajas y 026-Bajo Río San Juan. Además, cuenta con UR en 41 municipios: el estado de Nuevo León es el que posee mayor cantidad de municipios con UR (ver mapa 1).

De acuerdo con el Inventario Nacional de las UR 2007-2011 (Conagua y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2012), para la SRH-RSJ sólo se tenían registradas 26 UR repartidas en siete municipios de Nuevo León, con 2 682 usuarios y una superficie de 31 732.99 ha con un valor de parcela media de 11.83 ha/usuario. Según la información obtenida a través del portal de transparencia de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola de la Conagua y de las Estadísticas Agrícolas de las UR, en la subregión se encuentran 687 UR con una superficie sembrada de 68 739.61 ha (ver cuadro 2).

Mapa 1. Distritos y unidades de riego en la SRH-RSJ



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Organismo de Cuenca Río Bravo (2017).

Cuadro 2. Resumen características de las UR de la SRH-RSJ

Estado	Títulos	Superficie sembrada (ha)	Producción (t)	Valor de la producción (miles de pesos)	Volumen concesionado (hm ³)	Principales cultivos
Coahuila	2 134	13 891	292 033.4	765 725	194.9	Alfalfa, sorgo y avena.
Nuevo León	6 984	40 243	467 291.7	949 818	883.5	Sorgo, trigo, naranja y pastos.
Tamaulipas	63	14 605	104 086.2	310 497	115.9	Sorgo grano, y maíz amarillo grano.
<i>Total de la SRH-RSJ</i>	<i>9 181</i>	<i>68 740</i>	<i>863 41</i>	<i>2 026 040</i>	<i>1 194.2</i>	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Organismo de Cuenca Río Bravo (2017).

El caso del centro: subregión hidrológica Valle de México (SRH-VM)

La subregión SRH-VM cuenta con una superficie agrícola de 382 776 ha y 101 185 unidades de producción, de las cuales 358 938 ha y 93 250 unidades de producción corresponden a la agricultura de temporal y sólo 23 839 ha y 12 289 unidades de producción corresponden a agricultura de riego (Inegi, 2007).

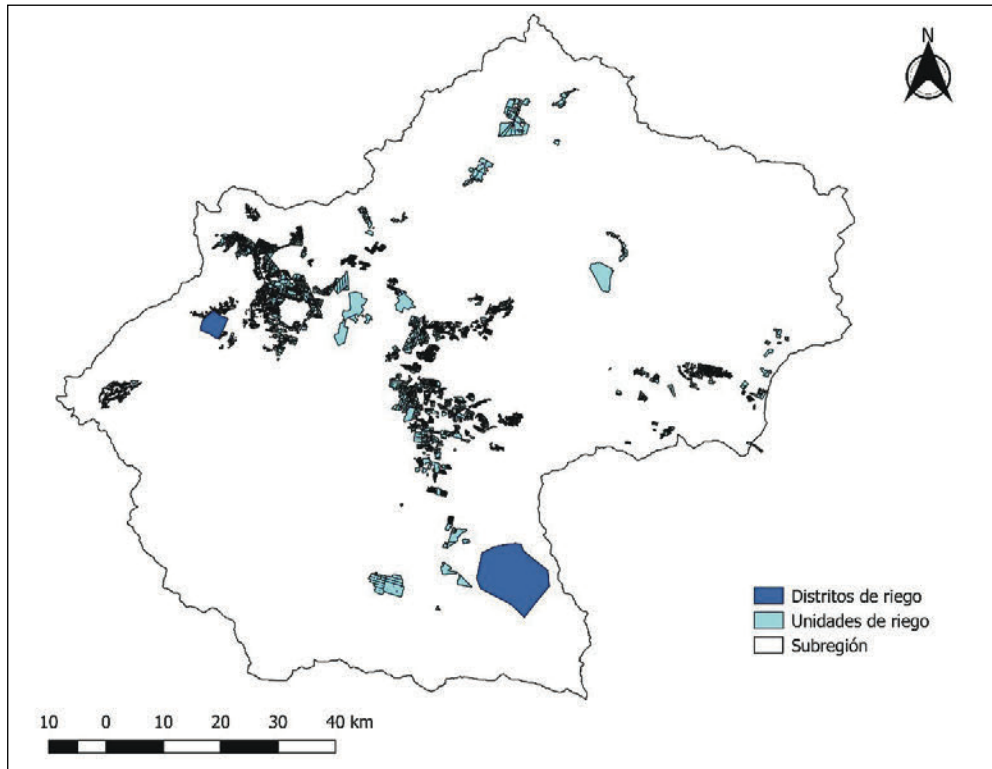
En esta subregión existe una fuerte presión por el uso del agua debido al crecimiento urbano y a la actividad económica, lo cual ha llevado a una sobreexplotación de los acuíferos que ha causado abandono de tierras de cultivo, deforestación, desecación de norias, agrietamientos, hundimientos e inviabilidad de proyectos agrícolas y ganaderos (Moreno-Sánchez, 2012). Es importante resaltar que en esta subregión se concentra gran parte de la población de México: Ecatepec es el municipio más poblado de México, con 1 658 806 habitantes.

Además, la zona cuenta con una gran dinámica poblacional, una excesiva expansión que incentiva un crecimiento desmedido, desproporcionado y sin planeación, lo que lleva a una mayor demanda de agua, a una mayor competencia para la disposición del recurso hídrico y a la sobreexplotación de acuíferos. A lo anterior hay que sumar la contaminación de las descargas industriales y el mal diseño de drenaje, situación que reduce significativamente el agua disponible y agudiza la competencia por el agua entre la agricultura, la industria y el uso urbano (Moreno-Sánchez, 2012). Como se menciona en el octavo capítulo, el uso agrícola ocupa los últimos puestos en cuanto a prioridad de usos, excepto en el caso de Hidalgo, en el que es prioritario respecto al uso industrial.

Una manera de cubrir parte de los requerimientos de agua para la agricultura es mediante el uso del agua residual (aguas grises y negras) sin tener en cuenta el riesgo a la salud y los daños a la fertilidad del suelo. A pesar de que el reúso es central en la GIRH, los niveles de metales pesados y contaminantes superan los límites establecidos en las normas oficiales mexicanas, de manera que en determinadas regiones está restringido su uso (ver el octavo capítulo). En efecto, dichas aguas residuales no son aptas para riego debido a que su turbiedad, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos superan los límites establecidos en las normas de calidad de agua. Se estima que de los 56.6 m³/s de agua residual que se generan la Ciudad de México, una cantidad importante se utiliza para regar cerca de 85 000 ha en la zona (Ontiveros-Capurata, Lamine Diakite-Diakite, Álvarez-Sánchez y Coras-Merino, 2013). Estas cifras ubican al país en el segundo lugar en el mundo en el riego con aguas tratadas (130 000 ha) y no tratadas (190 000 ha), sólo superado por Chile y China, respectivamente (Ontiveros-Capurata *et al.*, 2013).

En relación con la infraestructura para el riego, la subregión cuenta con dos distritos de riego: 088-Chiconautla y 073-La Concepción, y 242 unidades de riego distribuidas en 61 municipios. El Estado de México es el que posee mayor cantidad de UR (ver mapa 2).

Mapa 2. Distritos y unidades de riego en la SRH-VM



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola (2017).

Según el avance del inventario nacional de unidades de riego 2007-2011 (Conagua, 2012a), en esta subregión se tenían registradas nueve UR en dos municipios, cuatro en Hidalgo y cinco en el Distrito Federal, con una superficie de 2 384.53 ha que tienen 2 682 usuarios. Con estos números se estima una parcela media de 0.91 ha/usuario. De acuerdo con información obtenida a través del portal de transparencia de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola de la Conagua y de las estadísticas agrícolas de las UR, en la subregión se encuentran 242 unidades de riego distribuidas en 61 municipios: siete en el Distrito Federal, 14 en Hidalgo, 35 en el Estado de México y cinco en Tlaxcala. El total de superficie sembrada en unidades de riego en la subregión fue de 33 721.24 ha, con una producción de 1 143 481.29 toneladas y un valor de producción de 906.35 millones de pesos. Los principales cultivos en las unidades de riego son maíz grano, alfalfa y avena forrajera en verde (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Cantidad de títulos, superficie sembrada, producción, valor de producción, volumen concesionado, principal sistema de riego y cultivos principales de las unidades de riego de la SRH-VM

<i>Estado</i>	<i>Títulos</i>	<i>Superficie sembrada (ha)</i>	<i>Producción (t)</i>	<i>Valor de producción (miles de pesos)</i>	<i>Volumen concesionado (hm³)</i>	<i>Principales cultivos</i>
Ciudad de México	5	1 815.78	22 728.72	146 426.70	0.42	Romerito, brócoli y lechuga.
Estado de México	684	26 824.56	44 231.35	514.42	300.35	Maíz blanco, maíz forrajero y avena forrajera.
Hidalgo	141	3 743.46	71 221.37	78 210.34	20.80	Maíz grano blanco y alfalfa verde.
Tlaxcala	77	1 337.44	15 090.58	20 686.88	16.13	Maíz grano blanco, alfalfa verde y avena forrajera.
Puebla	107	755.4	25 663.06	65 580.95	14.40	Maíz grano.
<i>Total en la SRH-VM</i>	<i>907</i>	<i>33 721.24</i>	<i>153 272.02</i>	<i>245 838.34</i>	<i>352.11</i>	

Fuente: Elaborado propia a partir de la información del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (2017).

El caso del sureste: subregión hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)

La Subregión Bajo Grijalva cuenta con una superficie agrícola de 581 316 ha y con 80 845 unidades de producción, de las cuales 80 661 corresponden a la agricultura de temporal (576 892 ha) y sólo 534 a la agricultura de riego³ (4 424 ha) (Inegi, 2007).

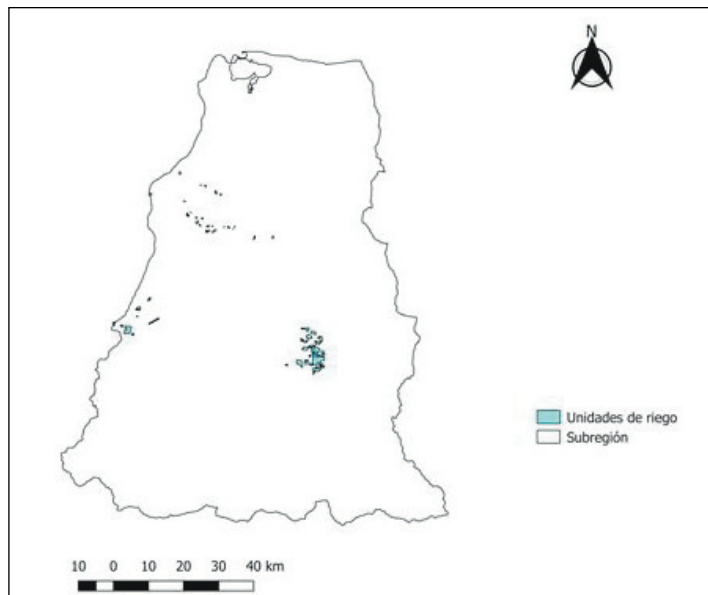
A pesar de la alta disponibilidad de agua en la subregión, parte de la tierra destinada a la agricultura no es apta, debido a las condiciones climáticas y edáficas de la zona, lo cual dificulta la planeación y la inversión a largo plazo. Los períodos de sequías que regularmente se dan de enero a abril, se han visto acentuados en los últimos años. Por lo que a partir de 1998, tras varios episodios de sequías que afectaron de manera generalizada a toda la entidad, comenzaron a instalarse por iniciativa privada los primeros sistemas de riego, principalmente en el sector platanero.

³ El total de unidades de producción puede no ser igual a la suma de los parciales, debido a que una misma unidad puede disponer, a la vez, tanto de superficie de riego como de temporal.

Tal como se apunta en el capítulo 8, en la zona de estudio se llevaron a cabo importantes obras para la desecación y el drenaje de zonas pantanosas, de manera que se pudieran gestionar los excesos de agua y permitir el establecimiento de cultivos. Así se conformaron los DTT. Sin embargo, con el aumento de tiempo e intensidad del período de estiaje, aunado a las necesidades de cumplir con los requisitos de calidad impuestos por los mercados internacionales, la superficie de riego ha ido incrementando de manera exponencial, apoyada por los programas gubernamentales (Yedra *et al.*, 2016). Además, se presentan varios problemas que afectan la productividad agrícola, como la falta de capacitación y asistencia técnica a los productores, el acceso limitado a los financiamientos, los altos costos de los créditos, las deficiencias en el manejo de información tecnológica y de mercados, la escasa infraestructura, la alta participación de intermediarios que afecta la ganancia de los productores y la erosión por las condiciones climáticas adversas, entre otros (Sagarpa y FAO, 2010).

En la subregión se encuentran 63 unidades de riego con una superficie sembrada en promedio de 5 509.6 ha. Teapa es el municipio con mayor cantidad de UR dentro de la subregión (ver mapa 3). Cuenta con 3 DTT: 001-La Sierra, 012-La Chontalpa y 016-Sanes-Huasteca.

Mapa 3. Unidades de riego presentes en la SRH-BG



Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola (2017).

Superficie agrícola

Entre 2009 y 2015 la superficie sembrada en promedio en la SRH-RSJ fue de 290 083 ha, de las cuales 30 por ciento se cultivó bajo riego, con un valor total de la producción de 3 565 millones, contribuyendo en un 77 por ciento de la superficie irrigada. Los cultivos con mayor superficie sembrada son pastos y praderas, maíz grano (blanco y amarillo), sorgo y naranja; y los de mayor valor son papa, pastos y praderas, manzana, maíz y naranja (SIAP, 2016 y 2017) (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Principales cultivos de la SRH-RSJ con superficie sembrada y valor de la producción bajo riego y de temporal (promedio 2009-2015)

<i>Cultivo</i>	<i>Superficie sembrada de temporal (ha)</i>	<i>Valor de producción de temporal (miles de pesos)</i>	<i>Superficie sembrada de riego (ha)</i>	<i>Valor de producción de riego (miles de pesos)</i>
Pastos y praderas	101 603.70	357 856.08	10 927.5	122 039.66
Maíz grano	26 841.99	71 193.78	11 743.5	204 410.68
Sorgo grano	13 824.98	48 089.13	12 770.6	138 839.20
Naranja	5 733.30	39 685.03	15 932.6	230 502.80
Trigo grano	10 855.40	27 763.48	8 001.5	84 750.01
Sorgo forrajero en verde	10 201.68	36 913.52	2 124.2	27 564.59
Manzana	4 850.35	82 336.81	3 595.6	274 419.18
Maíz forrajero en verde	7 086.95	20 639.39	—	—
*Papa	329.60	0.00	2 424.2	660 848.00
*Nuez	4.55	45.85	5 017.4	186 893.18
*Tomate rojo	4.84	3 440.00	609.5	146 345.65
*Chile verde	—	—	765.9	117 386.51
*Alfalfa verde	—	—	2 605.7	91 144.85
Otros cultivos	20 997.73	115 047.01	11 230.09	477 038.31
<i>Total</i>	<i>202 335.07</i>	<i>803 010.07</i>	<i>87 748.29</i>	<i>2 762 182.62</i>

*Poca superficie sembrada, alto valor de producción.

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas agrícolas del SIAP (2017).

Al respecto de los principales cultivos bajo riego en la subregión, están la naranja (18 %), el sorgo grano (15 %), el maíz grano (14 %) y los pastos en verde (13 %). Otros cultivos, como el trigo (9 %), la nuez (6 %), la manzana (4 %) y la mandarina (3 %) son menos relevantes en referencia a la cantidad de agua utilizada (SIAP, 2016 y 2017).

Para la SRH-VM la superficie sembrada fue de 471 910.85 ha, de las cuales 48 131 ha fueron de riego (10 %) (SIAP, 2016 y 2017). El valor medio de producción fue de 5 799.3 millones de pesos, de los cuales 1 301.2 millones corresponden a la agricultura de riego (22 %). Los principales cultivos de la subregión son cebada grano, maíz grano, avena forrajera en verde, trigo en grano y tuna (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Principales cultivos de la SRH-VM con superficie sembrada y valor de producción bajo riego y de temporal (promedio 2009-2015)

<i>Cultivo</i>	<i>Superficie sembrada temporal (ha)</i>	<i>Valor de producción temporal (millones de pesos)</i>	<i>Superficie sembrada riego (ha)</i>	<i>Valor de producción riego (millones de pesos)</i>
Cebada grano	179 189.39	925.28	500.436	4.72
Maíz grano	112 841.24	692.64	20 065.22	275.03
Avena forrajera en verde	32 813.70	198.58	4 547.99	35.27
Trigo grano	26 999.28	210.08	24.4	0.18
Tuna	18 399.90	465.58	11	0.35
Maíz forrajero en verde	4 932.20	63.53	9 939.1	156.38
Frijol	11 568.70	88.14	—	—
Avena grano	11 823.10	48.89	114.8	0.88
*Nopalitos	4 367.60	753.08	562.8	51.07
*Magüey pulquero	3 055.80	333.54	—	—
*Papa	1 506.60	257.81	12.2	3.5
*Romerito	—	—	702.44	59.93
*Brócoli	—	—	934.5	75.78
Otros cultivos	16 281.56	460.95	10 716.89	698.02
<i>Total</i>	<i>423 779.07</i>	<i>4 498.10</i>	<i>48 131.78</i>	<i>1 301.18</i>

**Baja* superficie sembrada, alto valor de producción.

Fuente: Elaboración propia a partir de estadísticas agrícolas del SIAP (2017).

Los principales cultivos bajo riego son maíz grano, maíz forrajero verde, alfalfa, avena forrajera en verde y brócoli, en ese orden de importancia. Finalmente, para la SRH-BG el área dedicada al cultivo fue de 210 103.24 ha, de las cuales sólo 2 por ciento (4 986.6 ha) fueron de riego y 205 116.64 ha de temporal. Esta actividad agrícola permitió generar un valor de producción de 4 241.7 millones de pesos, de los cuales 3 511.9 millones corresponden a la modalidad de temporal y 729.8 millones (20 %) a la modalidad de riego (SIAP, 2016 y 2017).

Los principales cultivos de la subregión son maíz grano, cacao, café cereza y plátano (ver cuadro 6), y los principales cultivos bajo riego son el plátano (56.6 %), el limón (30 %), la piña (5 %) y la caña de azúcar (5.4 %). En menor medida destaca el cacao (1.64 %) y la naranja (1.1 %).

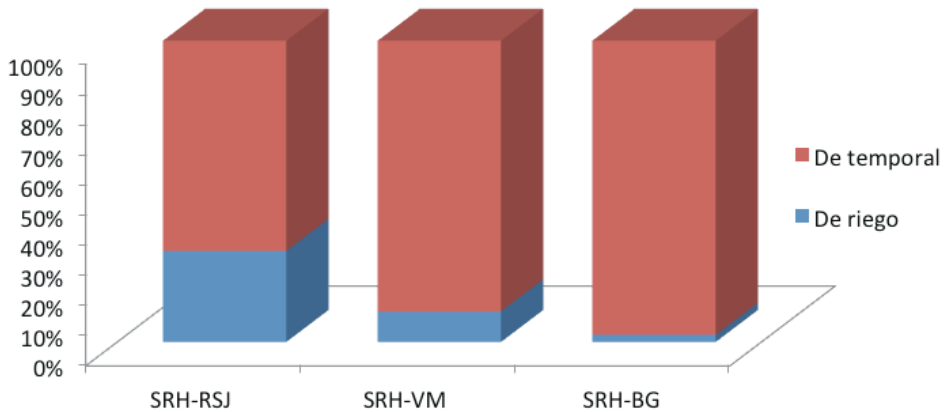
Cuadro 6. Superficie sembrada y valor de la producción bajo riego y temporal por cultivo en la SRH-BG

<i>Cultivo</i>	<i>Superficie sembrada temporal (ha)</i>	<i>Valor de producción de temporal (miles de pesos)</i>	<i>Superficie sembrada riego (ha)</i>	<i>Valor de producción de riego (miles de pesos)</i>
Maíz grano	83 739.45	452 394.37	7.14	88.93
Cacao	38 969.40	608 476.47	82	2 091.52
Café cereza	15 098.36	122 810.55	—	—
Plátano*	11 868.83	1 268 745.35	2 820.57	627 127.76
Frijol	12 663.32	103 115.52	—	—
Copra	8 673.67	36 015.03	—	—
Caña de azúcar*	8 338.33	257 038.33	269	9 686.92
Naranja*	8 478.57	130 215.06	55	1 632.66
Limón	5 554.56	97 515.67	1 499	54 901.30
Piña	1 099	92 115.17	248.57	32 421.69
Papaya	278.90	31 350.98	4	690.28
Otros cultivos	11 453.25	404 253.63	249.89	27 660.77
<i>Total</i>	<i>205 116.64</i>	<i>3 511 930.96</i>	<i>4 986.60</i>	<i>729 738.91</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de las estadísticas agrícolas del SIAP (2017).

Al comparar las tres subregiones (ver gráfica 1), la SRH-RSJ destaca por tener el mayor porcentaje de área de riego (30 %), seguido por la SRH-VM (10 %) y por último la SRH-BG (2 %). Esta diferencia se explica en gran medida por la disponibilidad natural del agua, la cual en la zona norte es limitada, mientras que en la zona sur es alta, situación que obliga a las subregiones a administrar la escasez y a generar la infraestructura necesaria para su mejor aprovechamiento.

Gráfica 1. Porcentaje del tipo de agricultura en las subregiones evaluadas

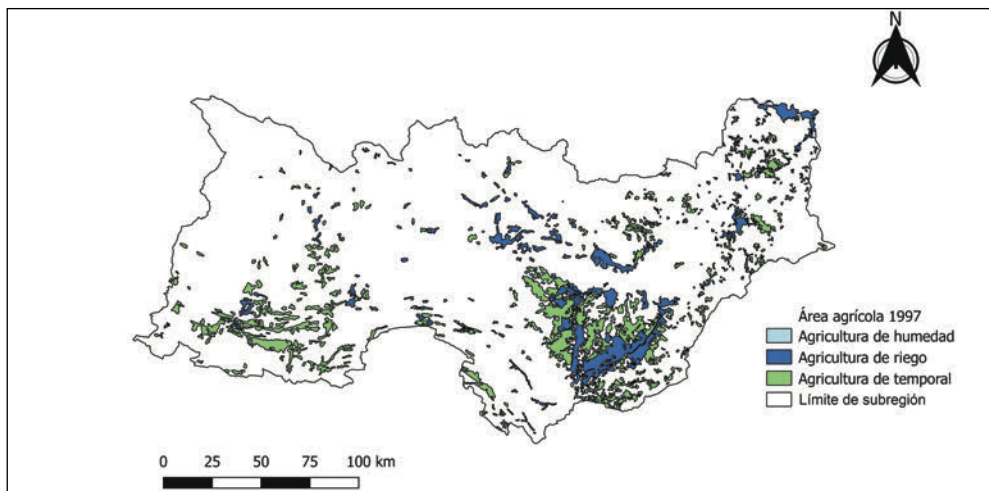


Fuente: Elaboración propia a partir de las *Estadísticas del agua en México* (Conagua, 2016c).

Cambios en la superficie agrícola

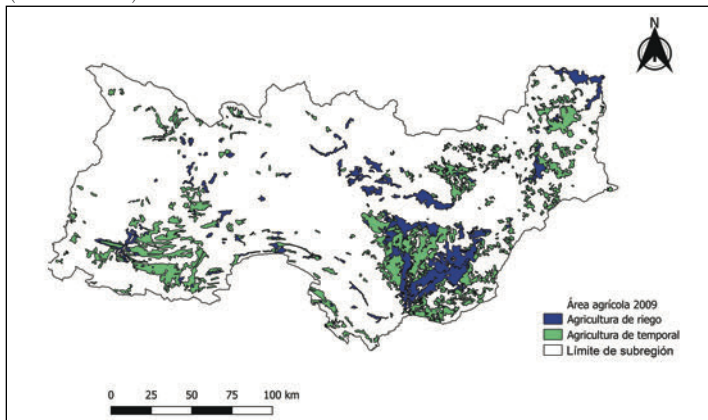
En el período de 1997 a 2009 para la SRH-RSJ se calcula un incremento de 29.1 por ciento en el área agrícola, con un aumento de 30.5 por ciento en el área de temporal y 26.3 por ciento en el área de riego (ver mapa 4).

Mapa 4. Superficie agrícola en 1997 y 2009 en la SRH-RSJ



(continúa)

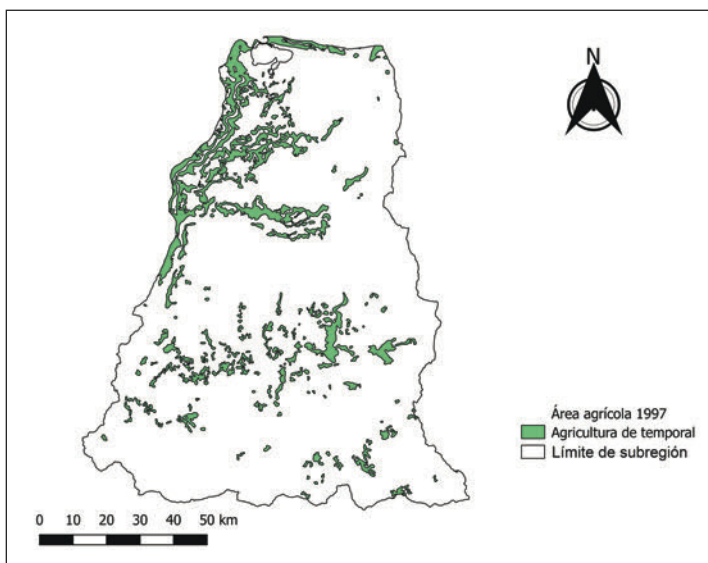
(continuación)



Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de *Metadatos* de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (INE e Inegi, 1997 y 2009).

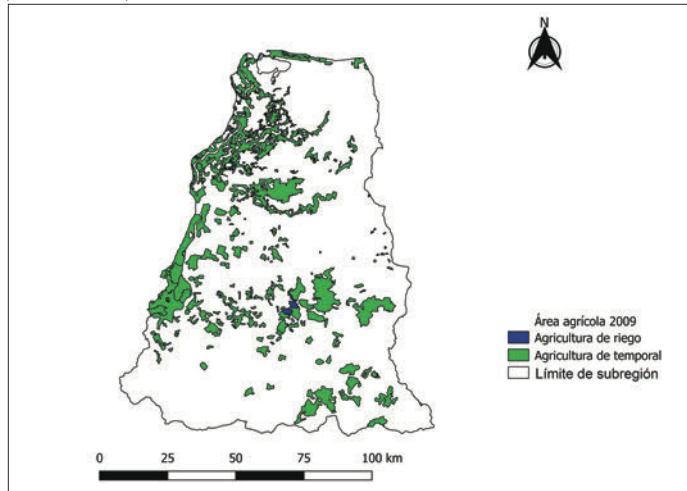
Por otro lado, en el mismo período, en la SRH-VM se encuentra una disminución de cinco por ciento de las zonas de temporal, presentándose un leve incremento de nueve por ciento en las zonas de agricultura de riego. Esta redistribución del área agrícola es más notoria en las zonas cercanas al área urbana (ver mapa 5).

Mapa 5. Superficie agrícola en 1997 y 2009 en la SRH-VM



(continúa)

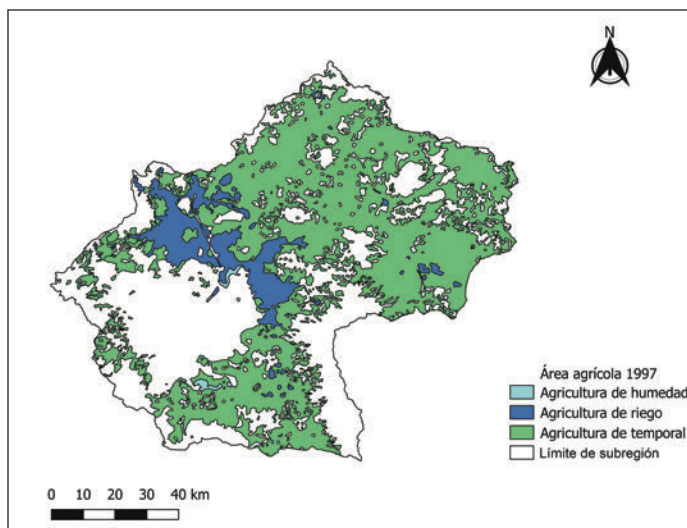
(continuación)



Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de *Metadatos* de la Conabio (INE e Inegi, 1997, 2009).

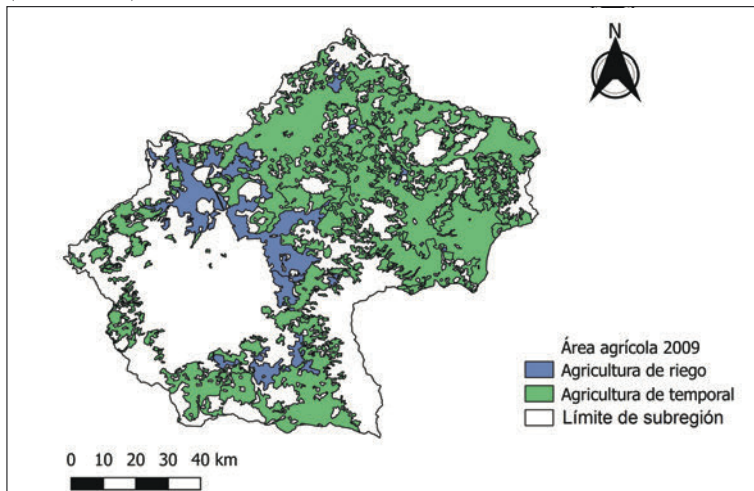
En la SRH-BG se observó un incremento en las áreas de agricultura de temporal (41.2 %), así como el surgimiento de zonas con cultivos bajo riego que constituyen 0.86 por ciento de la zona agrícola (ver mapa 6).

Mapa 6. Superficie agrícola en 1997 y 2009 en la SRH-BG



(continúa)

(continuación)

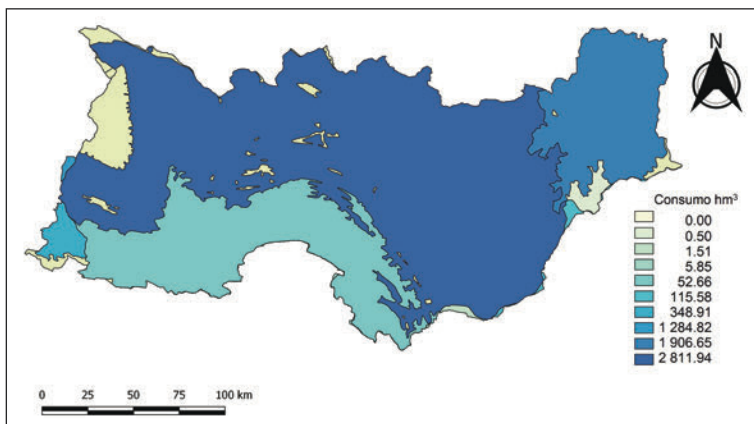


Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de *Metadatos* de la Conabio (INE e Inegi, 1997 y 2009).

Demanda de agua

En cuanto a demanda de agua para riego, la SRH-RSJ es la que presenta la mayor. En 2006, el consumo estuvo en el rango de 1 906.65 hm³ a 2 811.94 hm³ en más de 50 por ciento de la subregión (ver mapa 7).

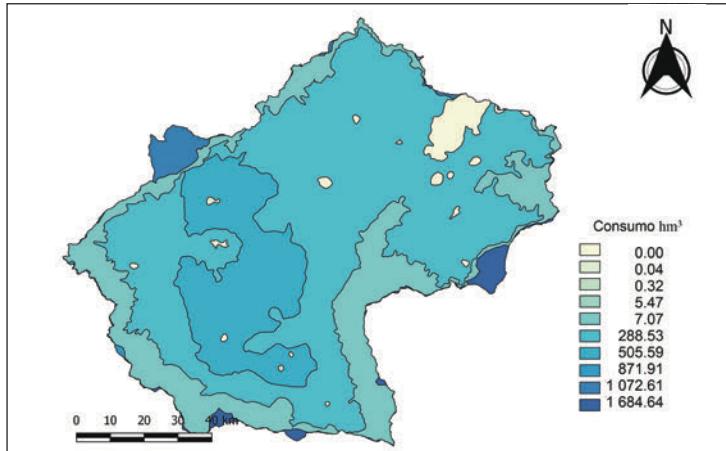
Mapa 7. Consumo de agua para riego en la SRH-RSJ, 2006



Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de *Metadatos* geográficos de la Conabio (Pacheco, Carrillo, Castellarini y Balvanera, 2008).

Para la SRH-VM el requerimiento de agua para la agricultura en 2006 se ubicó entre los 288.53 y los 871.91 hm³ en la mayor parte de la subregión (ver mapa 8).

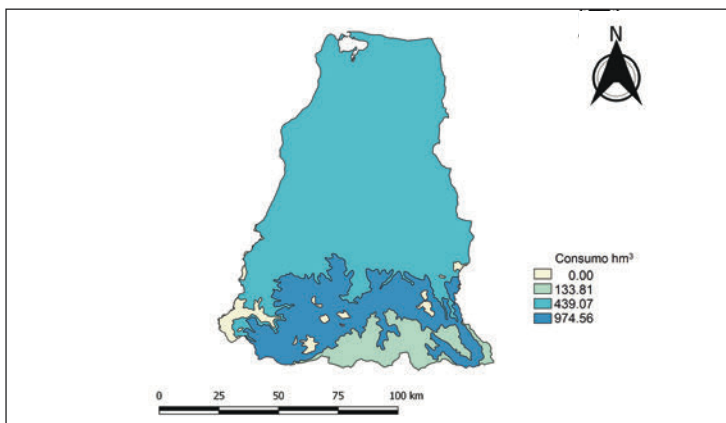
Mapa 8. Consumo de agua para riego en la SRH-VM, 2006



Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de *Metadatos* geográficos de la Conabio (Pacheco *et al.*, 2008).

De acuerdo con Pacheco *et al.* (2008), en 2006 la mayor parte de la SRH-BG demandaba 439.07 hm³ de agua para uso agrícola (ver mapa 9).

Mapa 9. Consumo de agua para riego en la SRH-BG, 2006



Fuente: Elaboración propia a partir del catálogo de *Metadatos* geográficos de la Conabio (Pacheco *et al.*, 2008).

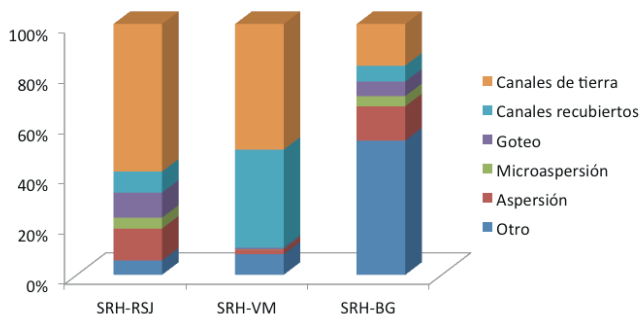
Tales diferencias se deben en gran medida a las condiciones climáticas y a la disponibilidad de agua natural de cada una de las subregiones.

Sistemas de riego

En la SRH-RSJ el principal sistema de riego empleado es el de canales de tierra (57 %), seguido de la aspersión (14 %) y el goteo (11 %), mientras que sólo siete por ciento utiliza canales recubiertos y cinco por ciento dispone de microaspersión. Por otro lado, en la SRH-VM el sistema de riego más utilizado es el de canales de tierra (50.1 %), seguido de canales recubiertos (39.1 %). El riego por aspersión representa sólo 1.89 por ciento, mientras que el de microaspersión y goteo son insignificantes (menos de 1 %). En la SRH-BG destaca que el principal sistema de riego es diferente de los sistemas de riego que se encuentra en la mayoría de los tradicionales (53.54 %), seguido de canales de tierra (16.6 %), aspersión (13.6 %), canales recubiertos (6.34 %) y goteo (5.78 %).

En suma, a partir de la gráfica 2 es posible observar la predominancia del uso de canales de tierra, salvo en la subregión Bajo Grijalva, donde ocupa el segundo lugar, lo cual evidencia nuevamente que ahí no hay una estructura bien establecida respecto al uso del riego en la agricultura. En cuanto a la tecnificación del riego (aspersión, microaspersión y goteo) las subregiones SRH-RSJ y SRH-BG presentan 28.8 y 23.6 por ciento, respectivamente. La aspersión es el sistema más empleado (13.6 y 13.7 %) seguido del goteo (10.6 y 5.8 %). En la SRH-VM sólo 2.8 por ciento utiliza sistemas de riego tecnificado y más de 95 por ciento utiliza canales de tierra y canales recubiertos. Esto tiene una relación directa con la eficiencia en el uso del agua, de manera que gran parte de los sistemas empleados principalmente en la zona norte y centro presentan bajas eficiencias y por lo tanto un mayor uso de los recursos hídricos.

Gráfica 2. Porcentaje de sistemas de riego usados en las subregiones evaluadas



Fuente: Elaboración propia a partir del Inegi (2007).

Origen del agua y su calidad

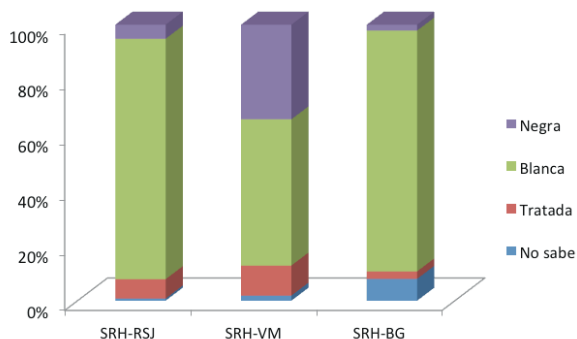
En la SRH-RSJ la principal fuente de agua para riego proviene de pozo profundo (36 %) y de bombeo de río (34 %). Hay que destacar que 86 por ciento del agua usada para riego corresponde a agua blanca⁴ y sólo el ocho por ciento a agua tratada, mientras que el cinco por ciento corresponde a agua negra (Inegi, 2007). Lo anterior es llamativo en una región en la que existe baja disponibilidad del recurso, aunado a una fuerte competencia entre los usos. En la SRH-VM las principales fuentes de agua para riego son: pozo profundo (35.22 %); otras fuentes (19.32 %); bombeo de río (17.48 %); y presa (14.73 %). Del agua usada para riego, 53 por ciento es blanca, 34 por ciento es agua negra y 11 por ciento corresponde a agua tratada (Inegi, 2007).

En la SRH-BG la principal fuente de agua para riego es de pozo profundo (30 %), seguida de bordo de agua y río, cada una con 23 por ciento. En cuanto a la calidad del agua de riego, 87 por ciento es blanca (ver la gráfica 3), 3 por ciento es agua tratada, 2 por ciento son aguas negras, y se desconoce la procedencia de 8 por ciento restante. Estos porcentajes reflejan, entre otras cosas, una intensa presión y lucha por el agua entre los usos agrícola, urbano e industrial que, sumados a una deficiente gestión, el resultado es por demás inquietante, principalmente en Valle de México. Por ejemplo, principalmente en la SRH-VM, es común encontrar enfermedades de la piel, gastrointestinales y de desarrollo físico, externalidades negativas más que evidentes. Esta situación, sin embargo, encierra una serie de complejidades sociales y condicionantes que van más allá de lo técnico, situación que hace muy difícil evitar, o convencer a los agricultores, acerca de la conveniencia de no usar las aguas negras.

Una infraestructura existente que permita disminuir el porcentaje de agua de primer uso, principalmente en el norte y en el centro, a costa de una mayor proporción de agua tratada es aún insuficiente para poder abastecer la demanda existente. Respecto al origen del agua para el riego, la principal fuente en las tres subregiones es el pozo profundo (aproximadamente 30 %), seguido del agua de río. La SRH-RSJ es la que tiene el mayor porcentaje (32.6 %), seguido de la SRH-BG (22.6 %). Otras fuentes importantes en las subregiones Río San Juan y Valle de México son las presas, de donde se extraen 18.4 y 14.9 por ciento, respectivamente. En la de Bajo Grijalva los bordos u hoyas de agua se utilizan en 22.8 por ciento.

⁴ El término *agua blanca* es el empleado por el Inegi (2007) para referirse al agua de primer uso, es decir, que no proviene de aguas residuales de otros usos (negras o tratadas).

Gráfica 3. Porcentaje según la calidad del agua empleada para riego en las subregiones evaluadas



Fuente: elaboración propia a partir del Inegi (2007).

Volúmenes concesionados y volúmenes distribuidos de agua para uso agrícola

A partir del cuadro 7 es posible resumir las características de la producción agrícola en las tres SRH. Es notable el tamaño de la SRH-RSJ, tanto en la superficie sembrada como en el volumen total de agua concesionada. Sin embargo, es la SRH-BG la que registra el consumo más elevado (19 986.93 m³/ha), quizás por la mayor disponibilidad. Le siguen en consumo por hectárea la SRH-RSJ, con 14 390.46 m³/ha y al final la SRH-VM, con 10 430.86 m³/ha. No es posible comparar las tres subregiones debido a que las UR no reportan el volumen distribuido, pero si tan sólo se comparan la de Valle de México con la de río San Juan, utilizando su volumen distribuido y realmente usado en sus dos DR, resulta que la que usa más agua de riego es la SRH-VM (10 254.2 m³/ ha promedio) frente a la SRH-RSJ (5 010.1 m³/ha promedio), situación que parece más realista, dado lo descrito en las secciones previas.

A continuación, se esbozan algunas características básicas que describen a cada distrito de riego (DR) incluido en el estudio, posteriormente se esbozan las UR, y finalmente también se describen los DTT, que para este estudio corresponden de manera exclusiva al estado de Tabasco.

El Distrito de Riego 031-Las Lajas se ubica en los municipios de General Bravo, Los Ramones, General Terán, China, Doctor Coss y Los Aldama, en Nuevo León; su área es de 4 059 ha, de las cuales 3 852 ha son regables; 2 044 ha por gravedad y 1 808 ha por bombeos directos del río San Juan (Ortega-Gaucin, 2011). Tiene un total de 124 de usuarios, quienes reciben 12.87 m³, lo cual resulta en una lámina bruta media de 93.6 cm. El volumen total de agua superficial concesionado para riego en este DR es de 24 hm³, con una eficiencia de conducción de 68.28 por ciento. La cuota media por suministro de agua, de 2009 a 2015, fue de 12.25 pesos

por millar de metros cúbicos. En promedio, de 2009 a 2015, la superficie sembrada ocupó un área de 1 387.8 ha con un valor de 15.4 millones de pesos.

Cuadro 7. Resumen de la caracterización de las subregiones hidrológicas de estudio

	<i>Subregión hidrológica</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>
<i>Distritos de riego¹</i>	<i>Superficie sembrada (ha)</i>	1 387	1 730	—
		19 006	316	
	<i>Volumen distribuido (hm³)</i>	12.9	18.7	—
		89.3	2.3	
	<i>Volumen concesionado (hm³)</i>	24	55.86	
	115.10	2.3		
<i>Unidades de riego²</i>	<i>Superficie sembrada (ha)</i>	68 739	33 721	5 510
	<i>Volumen concesionado (hm³)</i>	1 194.20	352.1	110.1
<i>DTT</i>	<i>Superficie sembrada</i>	—	—	25 136
				71 069
				14 272
	<i>Superficie total sembrada (ha)</i>	89 132	35 768	5 510
	<i>Volumen total concesionado (hm³)</i>	1 296.47	373.1	110.1

¹ Promedio de las estadísticas agrícolas de los distritos de riego de 2010 a 2015.

² Promedio de las estadísticas agrícolas de las unidades de riego de 2011 a 2015.

Nota: La primera fila de celdas de las SRH-RSJ y SRH-VM, en las columnas de los distritos de riego, se refiere al ciclo agrícola primavera-verano, y la segunda fila se refiere al ciclo agrícola otoño-invierno.

Fuente: Elaboración propia con base en las estadísticas agrícolas de los distritos de riego, las estadísticas agrícolas de las unidades de riego, las estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado (Conagua, 2010a, 2010b, 2011, 2012a, 2012b, 2012c, 2013, 2015a, 2015b, 2016a, 2016b, 2016c).

El Distrito de Riego 026-Bajo Río San Juan se localiza en la porción norte-centro de Tamaulipas. Comprende parcialmente los municipios de Mier, Miguel Alemán, Camargo, Díaz Ordaz, Reynosa y Río Bravo. De estos seis municipios, sólo Mier, Miguel Alemán y Camargo pertenecen a la SRH-RSJ y son parte de este estudio. Aunque el DR 026 está compuesto por 13 módulos, en la subregión SRH-RSJ únicamente se ubican tres módulos: Módulo I-1 (4 902.4 ha), Módulo II-1 (5 185.3 ha) y Módulo IV-1 (8 918.7 ha), que cubren una superficie regada dentro de 19 006.4 ha y un volumen concesionado de 89.30 hm³.

El DR 026 cuenta en promedio con 3 974 usuarios, en 86 102 ha, con una superficie regable de 76 689.6 ha. Las fuentes de abastecimiento son las presas Marte R. Gómez y

El Cuchillo, alimentadas por el Bajo Río San Juan. Además, se trasfiere agua de la presa derivadora Las Blancas a través del canal de interconexión para aprovechar escurrimientos del río Álamo. Posee 225 km de canales principales y 850 km de canales secundarios y terciarios (Rymshaw, 1998). El volumen medio de agua distribuida es de 360.32 hm³ con una lámina bruta media de 60.2 cm. El volumen total de agua superficial concesionada para riego en este distrito es de 464 hm³, con una eficiencia de conducción de 62.03 por ciento. La cuota por suministro de agua, en promedio, de 2009 a 2015, fue de 355.91 pesos por millar de m³.

El Distrito de riego 088-Chiconautla inició su operación en 1962. Se ubica en los municipios de Ecatepec de Morelos, Jaltenco, Nextlalpan y Tecámac en el Estado de México, con una superficie de 4 498 ha y 1 647 usuarios. El agua empleada en este distrito es superficial con bombeo directo de la corriente del desagüe de aguas residuales. Alcanzó a distribuir, entre 2009 y 2015, un promedio de 18.68 hm³, con una lámina bruta media de 112 cm. El volumen concesionado para riego en este distrito de riego fue de 55.86 hm³, con una eficiencia de conducción de 61.42 por ciento. Alcanzó este volumen para que, de 2009 a 2015, la superficie sembrada fuera de 1 730 ha, cuyo valor de producción se estimó en 43.97 millones de pesos. La cuota media por suministro de agua en este distrito, entre 2009 y 2015, fue de 1.40 pesos por hm³.

El Distrito de Riego 073-La Concepción, creado en 1951, se ubica en el Estado de México en los municipios Cuautitlán, Teoloyucan y Tepetzotlán, con una superficie de 964 ha y 400 usuarios. El agua empleada aquí proviene de la presa de almacenamiento La Concepción, cuya agua se aprovecha por gravedad. En promedio, de 2009 a 2015, el volumen de agua distribuido fue de 2.3 hm³ con una lámina bruta media de 75.20 cm. En este distrito, el volumen de agua concesionado para riego fue de 2.3 hm³, con una eficiencia de conducción de 65.12 por ciento. Este volumen alcanzó para cubrir una superficie sembrada promedio, de 2009 a 2015, de 316.6 ha, y generó un valor de 9 475.8 pesos. Como último dato, la cuota promedio por suministro de agua, de 2009 a 2015, fue de 10.488 pesos por millar de m³ (Conagua, 2010b, 2012b y 2016b).

Para la SRH-BG subregión se tenían registradas 46 UR en 3 municipios del estado de Tabasco, con una superficie de 3 586.67 ha y 49 usuarios (Conagua-Semarnat, 2012a). Sin embargo, de acuerdo con información obtenida a través del portal de transparencia de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola de la Conagua y de las estadísticas agrícolas de las unidades de riego, se encuentran 63 unidades de riego con una superficie sembrada que en promedio es de 5 509.6 ha (ver cuadro 8).

Cuadro 8. Títulos, superficie sembrada, producción, valor de producción y volumen concesionado en las unidades de riego de la SRH-BG

<i>Estado</i>	<i>Títulos</i>	<i>Superficie sembrada (ha)</i>	<i>Producción (t)</i>	<i>Valor de producción (miles de pesos)</i>	<i>Volumen concesionado (hm³)</i>
Tabasco	460	5 015.67	264 567.67	767 614.707	110.12

Fuente: Elaboración propia con base en estadísticas colectadas en cada una de las tres SRH, información secundaria y datos técnicos proporcionados por funcionarios de la Jefatura de Distritos de Riego (Atlacomulco, Dirección Local Estado de México), del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México dependiente de la Conagua, y de la Oficina del Distrito de Temporal Tecnificado 001 La Sierra. Villahermosa, Tabasco.

En la SRH-BG se encuentran tres distritos de temporal tecnificado (DTT): 001-La Sierra, 012-La Chontalpa y 016-Sanes-Huasteca. El DTT 001-La Sierra se creó el 14 de noviembre de 1994. Se encuentra en la región de la sierra y abarca los municipios Jalapa, Teapa y Tacotalpa, Tabasco. La superficie total es de 32 107 ha. En el DTT se encuentran dos asociaciones civiles: Sultana de la Sierra y Los Raudales de la Sierra. El número total de usuarios es de 1 588. Entre 2009 y 2015 se sembraron en promedio 25 136.90 ha, cuya producción alcanzó un valor de 683.4 millones de pesos. Los principales cultivos son pastos, plátano, maíz y palma aceitera, y el cultivo con mayor valor generado es el plátano (588.6 millones de pesos), seguido muy de lejos por la palma aceitera (120.4 millones de pesos) (Conagua, 2010a, 2011, 2012c, 2013, 2015a, 2015b y 2016b).

El DTT 012-La Chontalpa, creado como distrito de riego y drenaje bajo decreto del 19 de octubre de 1957, se encuentra en los municipios de Cárdenas y Huimanguillo, Tabasco. Cuenta con 91 145 ha y 10 344 usuarios. Tiene una asociación civil llamada El Plan Chontalpa Vive. Entre 2009 y 2015 la superficie sembrada fue de 71 069.29 ha con un valor de 1 299 811 160 miles de pesos producidos. Los principales cultivos en el DTT son caña, pastos y cacao. El cultivo con mayor valor de producción es la caña de azúcar (859.6 millones de pesos), seguido por el cacao (179.3 millones de pesos) (Conagua, 2010a, 2011, 2012c, 2013, 2015a, 2015b y 2016b).

El DTT 016-Sanes-Huasteca no cuenta con decreto de creación. Se encuentra en el municipio de Teapa, Tabasco, y cubre 32 107 ha. Este DTT cuenta con una asociación civil llamada Cuencas Sanes-Huasteca y tiene 3 122 usuarios. La superficie sembrada promedio entre 2009 y 2015 fue de 14 272 ha y generó un valor de 755.49 millones de pesos. Los principales cultivos en este DTT son pastos, plátano y maíz. El cultivo con mayor valor de producción es el plátano enano gigante con 416.33 millones de pesos (Conagua, 2010a, 2011, 2012c, 2013, 2015a, 2015b y 2016b).

Productividad, requerimientos y valor de la producción agrícola de riego

En cuanto a la productividad de la agricultura bajo riego, en toneladas por m³ de agua concesionada, la subregión que presenta mayor productividad media es la Subregión Hidrológica Valle de México con 0.055 t/m³, seguida de la Subregión Hidrológica Bajo Río San Juan con 0.016 t/m³ (ver cuadro 9).

En las estimaciones presentadas en el cuadro 9 se utiliza el volumen concesionado, no el volumen utilizado o distribuido, porque no fue posible conseguir estadísticas de volumen de agua distribuida en las UR. Por lo tanto, se debe tener precaución en el uso de esta información y considerar la productividad y el valor más bien como una aproximación a los datos reales. Así mismo, los requerimientos hídricos anuales de los principales cultivos son también un cálculo aproximado, dada la información disponible. Pero si bien es cierto que los requerimientos dependen de muchos factores, esta estimación es útil: es un punto de referencia para la toma de decisiones. Para fines comparativos, sólo es posible observar la gran diferencia que existe en el cultivo de maíz blanco entre las SRH-RSJ y SRH-VM, situación que podría ser el resultado de la mayor eficiencia en el riego en la SRH-RSJ, tal y como se señaló líneas arriba.

En cuanto al valor económico de la producción agrícola de riego, son interesantes los registros elevados que se reportan para las SRH-RSJ y la SRH-BG. Las razones de estos valores se explican por el perfil de cultivos que se siembran en cada SRH, y por la eficiencia en el riego. En efecto, como se mencionó anteriormente, la SRH-RSJ presenta mejores condiciones de tecnificación del riego, aunque su perfil de cultivos está más orientado a la producción de forrajes. Por su parte, los cultivos de la SRH-BG, aun cuando tiene una menor tecnificación, arrojan un mayor valor. En el caso de la SRH-VM, un factor relevante, además de la baja tecnificación y el uso de canales de tierra para la conducción del agua, es la utilización de grandes cantidades de aguas negras y grises lo que, al final de cuentas, condiciona el valor de sus cosechas, las cuales se orientan más hacia la producción de forrajes.

Cuadro 9. Índices de consumo de agua y de superficie, origen y tipo del agua, sistemas de riego, productividad y requerimientos hídricos de los principales cultivos en las tres subregiones hidrológicas de estudio

<i>Indicador</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>
Volumen de agua concesionada/ superficie irrigada (m ³ /ha)	14 390.46	10 430.86	19 986.93
Productividad por hm ³ de agua concesionado (t/hm ³)			
Productividad de la subregión	732.44	49 919.94	2 337.12
Productividad de los distritos de riego	Las Lajas: 270.71	Chiconautla: 1 842.28	N/A
	Bajo Río San Juan: 926.89	La Concepción: 10 191.30	
	Productividad de las unidades de riego	722.98	
Requerimientos hídricos anuales de los principales cultivos (hm ³)			
Principales cultivos	Naranja: 159.33	Maíz grano: 180.59	Plátano: 47.95
	Sorgo: 86.20	Maíz forrajero: 89.45	Limón: 20.99
	Maíz grano: 105.69	Alfalfa verde: 65.72	Piña: 3.48
Valor económico de la producción agrícola de riego (pesos/m ³)			
Total de la subregión	1.18	0.89	6.98
Distritos de riego	Las Lajas: 0.64 (1.75)*	Chiconautla: 0.78 (3.83)*	N/A
	Bajo Río San Juan: 3.24 (6.73)*	La Concepción: 4.12 (6.33)*	
	Unidades de riego	1	

**Corresponde* al valor obtenido al dividir el valor de producción entre el volumen distribuido y la eficiencia de conducción.

Fuente: Elaboración propia con base en diferentes estadísticas colectadas en cada una de las tres SRH, información secundaria y datos técnicos proporcionados por funcionarios de la Jefatura de Distritos de Riego (Atzacmulco, Dirección Local Estado de México), del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México dependiente de la Conagua, y de la Oficina del Distrito de Temporal Tecnificado 001 La Sierra (Villahermosa, Tabasco).

Conclusiones

A partir de la descripción detallada, se observa cómo las particularidades de cada SRH hacen un tanto difícil su comparación. Ciertamente, más allá de los números aquí mostrados, afrontar este reto conduce a pensar en consideraciones de tipo climático, edafológico o geográfico que han condicionado el uso del agua y el diseño de la infraestructura, además de la calidad y de la disponibilidad del recurso. Al final, pese a las limitaciones para documentar de forma precisa el uso del agua en las UR, DR y DTT en las tres RSH, este trabajo representa un avance considerable para evaluar, en un primer intento, la gestión del agua y realizar algunas consideraciones de carácter general.

Muchos de los retos encontrados coinciden con lo resaltado ya por Palerm, Collado y Rodríguez (2010) respecto a la administración y gestión del agua de riego, entre los que se destacan la ineficiente capacidad institucional para promover el riego eficiente (deficiencias en la medición y supervisión, manejo parcelario, operación de los sistemas de riego por gravedad), la sobreconcesión de aguas superficiales (a través de distritos de riego sobredimensionados y sobreconcesionados), la sobreexplotación de los acuíferos (distritos de riego y ciudades con acuíferos sobreexplotados), el minifundismo, la discontinuidad en las organizaciones de regantes, la edad de los regantes, los apoyos insuficientes a las unidades de regantes, la reducida gestión coordinada de aguas superficiales y subterráneas, la contaminación del agua, los aprovechamientos irregulares y los predios agrícolas con valor urbano, entre otros.

Observando puntos clave para el análisis, como la disponibilidad natural, los sistemas y las técnicas de riego, el origen y la calidad del agua, y al final cómo estos factores se relacionan con la superficie sembrada y con el patrón de cultivos en cada subregión de estudio, podemos entonces arribar a conclusiones de carácter general. Por ejemplo, las diferencias en el área de riego de cada SRH se explican en gran medida por la disponibilidad natural del agua (lluvias, agua superficial). Así, la SRH-RSJ, que tiene el mayor porcentaje de área de riego, tiene una disponibilidad natural limitada, mientras que la SRH-BG, con una disponibilidad alta, tiene un porcentaje de riego muy bajo. Estas situaciones obligan a administrar su escasez y a generar la infraestructura necesaria para el mejor aprovechamiento. Por otro lado, la superficie sembrada está condicionada por las presiones urbana e industrial. El caso emblemático es la SRH-VM, porque pese a que presenta las buenas condiciones climáticas y de suelo, la superficie sembrada ha disminuido cediendo a la presión urbana. En medio de la competencia por el agua, su disposición natural está muy rebasada (ver el segundo capítulo de este libro), lo que acrecienta su escasez y orilla al incremento de la superficie agrícola regada con aguas negras provenientes del drenaje de la zona metropolitana del Valle de México.

En cuanto a los sistemas de riego, tanto en la SRH-RSJ como en la SRH-VM, el más empleado es el de canales de tierra, seguido de los canales recubiertos. Mención aparte merece la SRH-BG, la cual no tiene una estructura bien establecida debido a que primero se debe eliminar el exceso de agua de los campos agrícolas. En cuanto a la tecnificación del riego, la aspersión es el sistema más empleado, tanto en el norte como en el sur, seguido del goteo. Estos sistemas y la tecnificación del riego tienen una relación directa con la eficiencia y con la demanda del agua. Respecto al origen del agua para el riego, la principal fuente en las tres subregiones es el pozo profundo (aproximadamente 30 %), seguido del agua de río, aunque en las subregiones SRH-RSJ y SRH-VM otra fuente importante son las presas de donde se extraen 18.4 y 14.9 por ciento, respectivamente, y en la SRH-BG los bordos u hoyas de agua se utilizan en 22.8 por ciento.

En lo que respecta al tema de la calidad del agua, es importante saber que, tanto en la SRH-RSJ como en la SRH-BG, el origen principal es el agua blanca en 87.4 y 87.3 por ciento, respectivamente, mientras que en la SRH-VM se usa sólo 53.3 por ciento, pero utiliza 34.5 por ciento del agua residual y 11 por ciento de agua tratada. Estos porcentajes reflejan una intensa competencia por el agua, producto del crecimiento demográfico e industrial, especialmente en el Valle de México. El uso de aguas negras en el Valle de México imposibilita la utilización de sistemas de aspersión y de goteo. Esta situación es opuesta en la Subregión Hidrológica Río San Juan, donde la mayor parte de agua utilizada es blanca, que, dada su escasez y por la condición desértica de la zona, se orienta hacia sistemas de riego más eficientes. Por otra parte, en la SRH-BG, hay preferencia de los productores para utilizar agua subterránea debido a la alta cantidad de sólidos en suspensión que arrastran las fuentes superficiales, producto de los procesos erosivos que acontecen en la cuenca alta, además del riesgo de pérdida o daño a la infraestructura con las frecuentes inundaciones. En esta subregión el riego debe combinarse a menudo con la construcción de infraestructura para drenar y utilizar esas tierras después de controlar la humedad en el suelo.

Por el lado de la producción agrícola, se observan también puntos interesantes. Por ejemplo, aun cuando la SRH-RSJ es la más grande en tamaño, tanto en superficie sembrada como en volumen de agua concesionada, la SRH-BG es la que registra el consumo más elevado, quizás por su mayor disponibilidad natural. Al hacer esta misma comparación, sólo en los DR que reportan el volumen distribuido (en lugar del concesionado, que normalmente es mayor), resulta que el mayor uso de agua de riego por hectárea se registra en la SRH-VM, situación debida a la gran disponibilidad de aguas residuales y el tipo de sistemas de riego.

En cuanto a la productividad de la agricultura bajo riego, en toneladas por metros cúbicos de agua concesionada, la subregión hidrológica de mayor productividad es la del Valle de México, seguida por la SRH-RSJ, pero aquí quizás se aplique la misma

lógica si se considera el agua distribuida en lugar del agua concesionada, es decir, es posible que la productividad mayor se registre en la SRH-RSJ. La imposibilidad de tener registros más finos en el uso del agua de riego nos lleva a considerar estas medidas de productividad y de valor de la producción sólo como una aproximación.

Por otro lado, si bien es cierto que los requerimientos agronómicos para el total de la producción por cultivo registra grandes diferencias entre las SRH, esto podría ser el resultado no sólo de factores ambientales propios de cada región, de la disponibilidad del agua y de la eficiencia en el riego, sino también del patrón de cultivos, el cual responde en gran medida a las señales del mercado, al perfil del productor y al rol de las instituciones y de los programas de gobierno. En efecto, existe un complejo de instituciones y organismos entre los que destaca la Conagua por su influencia en el manejo del agua y en la operación de los distritos y unidades de riego. Por la acotación propia de esta investigación, no se abunda en este tema, pero sí es posible especular que los productores que han sido capaces de aprovechar los programas y ayuda que ofrece la Conagua son principalmente aquellos que se adaptan mejor a una lógica empresarial, con cultivos más rentables (Yedra *et al.*, 2016).

¿Cómo se presenta esta lógica en cada región (norte, centro o sur)? Es interesante cómo el grueso de la producción agrícola se centra en la producción de forrajes, principalmente en la SRH Río San Juan y en la del Valle de México, y cómo sobresalen los cultivos de alto valor en la de Bajo Grijalva y en el norte de México. Apreciando esta complejidad a través del valor de la producción, ésta se correlaciona positivamente con mejores condiciones de tecnificación del riego. Pero como se mencionó antes, no es posible ser concluyentes a este respecto: la complejidad de las relaciones es todo un reto y definitivamente quedan preguntas pendientes, como por ejemplo, cuál es el efecto de la política de Estado en el sector. Hay que definir con precisión el perfil de los usuarios de riego, cuál ha sido la política económica en el sector agrícola y relacionar la política sectorial para cada tipo de perfil, tanto en el nivel nacional y en el regional o por subregión. Sin duda alguna que estas preguntas reflejan un hueco importante para investigaciones futuras.

En suma, existen factores naturales, como el origen, la disponibilidad natural y la calidad del agua, que determinan la forma de aprovechar el recurso hídrico, pero los factores técnicos son igualmente relevantes, como los sistemas y las técnicas de riego. Considerando estos factores naturales y técnicos es posible discutir su relación con la producción agrícola, con factores como el valor, la productividad y la eficiencia agronómica por el uso del agua. Queda aún pendiente incluir el rol y la influencia del entramado institucional y los organismos del sector. Ciertamente todo en conjunto dibuja un panorama complejo.

Intentar discernir cómo estos elementos determinan una mejor gestión es todo un reto. A la vista es posible sólo identificar algunas guías. Por ejemplo, mayores productividad y eficiencia se acompañan con una mayor tecnificación en el uso del

agua. Pero la correlación no es simple: existe influencia de los factores naturales, como el origen y la disponibilidad natural; esto es, bajo condiciones normales, una mayor disponibilidad y un origen o acceso fácil (ríos o manantiales) conducirá a un mayor consumo por hectárea.

Quizás el factor de la calidad desempeña el papel más relevante, al condicionar la posibilidad de utilizar técnicas modernas, como la aspersión o el goteo, situación muy singular y evidente en Valle de México, donde se maneja una gran cantidad de aguas negras. Una mayor productividad del agua también se corresponde con una mayor superficie sembrada de cultivos de mayor valor, pero sobre todo de una producción más orientada al mercado y menos al autoconsumo. Llama la atención la dominancia de cultivos forrajeros, aun en zonas que se supone tendrían grandes centros urbanos de consumo, como Monterrey y la Ciudad de México.

Existen otros factores que merecen una mejor consideración, como el tipo de suelo, el clima (o el cambio climático), pero sobre todo los factores sociales (por ejemplo, el nivel de escolaridad, la edad, la capacitación, el uso de paquetes tecnológicos, los apoyos del gobierno, etc.) y económicos, como las condiciones de mercado (precios, canales de distribución, perfiles de consumidores, riesgos, etc.). Como agenda de investigación, quizás valga la pena encuadrar el análisis en un marco teórico más amplio para entonces tener una mejor respuesta a los ajustes de política, o saber cómo balancear los factores de mercado con la parte natural y la técnica. Al final, todo esfuerzo deberá enfatizar los condicionantes para lograr un mejor desarrollo rural en la zona más castigada por la pobreza y la marginación.

Referencias

- Altamirano-Aguilar, A., Valdez-Torres, J., Valdez-Lafarga, C., León-Balderrama, J., Betancourt-Lozano, M. y Osuna-Enciso T. (julio-agosto, 2017). Clasificación y evaluación de los distritos de riego en México con base en indicadores de desempeño. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(4). Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000400079
- Carrillo, J. J. y Espinoza, D. (2009). Expansión de las áreas de temporal tecnificado. En Conagua, *La segunda fase para la integración del Plan Hídrico Integral de Tabasco* (pp. 766-95). México: Autor. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/plan-hidrico-integral-de-tabasco-phit-segunda-etapa-2009>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y Seguridad Alimenticia (CEDRSSA). (2015). *Las unidades de riego para el desarrollo rural*. Recuperado de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/4Las%20unidades%20de%20riego%20rural%20para%20el%20desarrollo%20rural..pdf>
- Cervantes, M. C. (2002). *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*. Ciudad de México: UNAM/Instituto de Geografía.

- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2007). *Subregiones hidrológicas, escala 1:250000. República mexicana* [base de datos]. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2010a). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado 2009*. Ciudad de México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2010b). *Estadísticas agrícolas de los distritos riego. Año agrícola 2009-2010*. Ciudad de México: Semarnat. Recuperado de <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/147019/ea2011-2012.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2011). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado. Año agrícola 2010*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012a). *Atlas: avance del inventario nacional de unidades de riego 2007-2011*. Recuperado de <http://www.colmern.mx/phocadownload/atlas%20unidades%20de%20riego.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012b). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2011-2012*. México: Semarnat. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012c). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado. Año agrícola 2011*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2013). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado. Año agrícola 2012*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2015a). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado. Año agrícola 2013*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2015b). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado. Año agrícola 2014*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016a). *Atlas del agua en México 2016*. Recuperado de http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016b). *Estadísticas agrícolas de los distritos de temporal tecnificado 2015*. México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016c). *Estadísticas del agua en México*. México: Semarnat. Recuperado de http://201.116.60.25/publicaciones/EAM_2016.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (30 de noviembre de 2017). *Manuales de operación y especificaciones técnicas*. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/manuales-de-operacion-y-especificaciones-tecnicas>
- Instituto Nacional de Energía (INE) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (1997). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, Serie I (continuo nacional)*. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/usv250kcs1agw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Instituto Nacional de Energía (INE) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2009). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, Serie IV (continuo*

- nacional). Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadta/gis/usv250ks4gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2007). Censo agrícola, ganadero y forestal 2007. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2016). Áreas geoestadísticas municipales, 2016, escala: 1:250000 [base de datos]. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (Inai). (2017). Plataforma Nacional de Transparencia Gobierno Federal. Recuperado de <https://www.infomex.org.mx/gobiernofederal/solicitantes/recuperarContra.action;jsessionid=4CF7EDBBA6A830D1A5B80C61FBE4E77B>
- Mejía, E., Palacios, E., Exebio, A. y Santos, A. L. (2002). Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego. *Terra Latinoamericana*, 20(2), 217-25. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320215>
- Moreno Reséndez, A., Durón, J. y Luévano, A. (julio-diciembre 2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29(15). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/141/14119052014.pdf>
- Moreno-Sánchez, E. (2012). Gestión, gobierno y recurso agua en el oriente del Estado de México. *Quivera, Universidad Autónoma del Valle de México*, (2), 73-90.
- Návar, J. (2001). Water supply and demand scenarios in the San Juan Watershed. *Geofísica Internacional*, 40(2), 121-34.
- Návar-Cháidez, J. J. (2011). Escasez de agua y degradación en la cuenca del río San Juan del noreste de México. *Frontera Norte*, 23(46), 125-50. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73722011000200005&script=sci_abstract
- Návar-Cháidez, J. J. y Rodríguez, E. (2002). Caracterización de las superficies agrícolas y sus volúmenes de irrigación en la cuenca del río San Juan, México. *Investigaciones Geográficas*, (47), 77-91. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112002000100006
- Olvera-Salgado, M. D., Bahena-Delgado, G., Alpuche, O. y García, F. (2014). La tecnificación del riego ante la escasez del agua para la generación de alimentos. Estudio de caso en Chihuahua, México. *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 23-36. Recuperado de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/ambienteydesarrollo/article/view/11806>
- Ontiveros-Capurata, R., Lamine Diakite-Diakite, M., Álvarez-Sánchez, E. y Coras-Merino, P. (2013). Evaluación de aguas residuales de la Ciudad de México utilizadas para riego. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(4), 127-40. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000400008
- Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. (2017). Respuesta a solicitud de acceso a la información. Folio Infomex 1610100191317. Oficio: B00.801.00.2-348.17.

- Organismo de Cuenca Río Bravo. (2017). Respuesta a solicitud de información. Folio Infomex 1610100191317, Oficio: BOO.811.09.304/17. Monterrey, Nuevo León.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (8 de octubre de 2017). *Cultivos* [base de datos]. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Ortega-Gaucin, David. (2011). *Diagnóstico sobre la gestión y uso del agua en el sector agropecuario de Nuevo León*. Instituto del Agua del Estado de Nuevo León. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/11/GestionYUsodelAguaenelSectorAgropecuarioenNuevoLeon.pdf>
- Pacheco, C. U., Carrillo, F., Castellarini, y Balvanera, P. (2008). Consumo de agua para riego, escala: 1:1000000. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/caguarieregogw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Palerm, J., Collado, J. y Rodríguez, B. (2010). Retos para la administración y gestión del agua de riego. En B. Jiménez, M. L. Torregrosa y L. Aboites (edits.), *El agua en México: cauces y encauces* (pp. 141-178). Ciudad de México: Academia Mexicana de Ciencias.
- Pedroza, E. e Hinojosa, G. A. (2014). *Manejo y distribución del agua en distritos de riego: breve introducción didáctica*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Rymshaw, E. (1998). *Análisis del desempeño de la irrigación en los distritos de riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, Tamaulipas, México*. IWMI, *Serie Latinoamericana, I*. Recuperado de http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Latin_American_Series/pdf/1.pdf
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2012). *Memoria documental del Proyecto Estratégico de Tecnificación de Riego 2008-2012*.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2016). *Tecnificación de riego para un mejor uso y distribución del agua*. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tecnificacion-de-riego-para-un-mejor-uso-y-distribucion-del-agua>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2017). *Componente de mejoramiento productivo de suelo y agua 2017*. Recuperado http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5509548&fecha=29/12/2017
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). (2010). *Diagnóstico sectorial del Estado de Tabasco*. Recuperado de <https://docplayer.es/74677679-Diagnostico-sectorial-del-estado-de-tabasco.html>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). *Atlas Agroalimentario 2015*. México: Autor.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). *Estadística de la Producción Agrícola de 2016*. Recuperado de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* [base de datos]. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp
- Siagua. (2017). Sistema Iberoamericano de Información sobre el Agua. Recuperado de <http://www.siagua.org/pais/mexico#basica>
- Sifuentes-Ibarra, E. Ojeda-Bustamante, W., Rojano, A. e Íñiguez-Covarrubias, M. (2012). La adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. Volumen IV. En C. Patiño y Polioptro F. Martínez Austria (edits.), *Impacto del cambio climático en los recursos hídricos* (pp. 65-113). Jiutepec, Morelos, México: IMTA.
- Silva-Ochoa, P., Quijada-Uribe, M. G, Monsalvo-Velásquez, G. y Ramírez-Calderón, J. J. (2000). *Unidades de riego: la otra mitad del sector agrícola bajo riego en México*. IWMI, Serie Latinoamericana, núm. 19. IMTA. Recuperado de <http://publications.iwmi.org/pdf/H026501.pdf>
- Sosa Rodríguez, F. y Castro Ruíz, J. (2020). Evaluación de la gestión integrada de los recursos hídricos: Retos y avances. En I. Aguilar-Benitez, *La gestión de los usos del agua en tres subregiones hidrológicas: Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva* (pp. 255-283). Tijuana: El Colef.
- Sosa Rodríguez, F., Castro Ruíz, J. y Sotelo Núñez E. (2020). La implementación del modelo de gestión integrada de los recursos hídricos en las subregiones de estudio y sus retos en materia institucional y legal. En I. Aguilar-Benitez, *La gestión de los usos del agua en tres subregiones hidrológicas: Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva* (pp. 223-253). Tijuana: El Colef.
- Soto-Mora, C. (2003). La agricultura comercial de los distritos de riego en México y su impacto en el desarrollo agrícola. *Investigaciones Geográficas: Boletín del Instituto de Geografía*, (50), 173-95. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n50/n50a16.pdf>
- Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. (2017). “Respuesta solicitud de información”. Folio: 1610100191317. Memorando No. B00.3.00.00.01.-55. Ciudad de México.
- World Bank. (2009). *México-Country Note on Climatic Change Aspects in Agriculture*. Washington, D. C.: Autor. Recuperado de <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/181101468048301961/pdf/537950BRI0Clim10Box345626B01PUBLIC1.pdf>
- World Bank, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (2014). *Climate-smart agriculture in Mexico. CSA Country Profiles for Latin America Series*. Recuperado de <https://ccafs.cgiar.org/publications/climate-smart-agriculture-mexico#.XxIIV0UzbIU>

Yedra, H., Mesa-Jurado, M. A., López-Morales, C. A. y Castillo, M. M. (2016). Economic valuation of irrigation water in south-eastern Mexico. *International Journal of Water Resources Development*, 32(6), 931-943. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1133404>

UN ANÁLISIS DE EFICIENCIA EN EL USO DOMÉSTICO URBANO DE LAS TRES SUBREGIONES HIDROLÓGICAS DE ESTUDIO

Ismael Aguilar-Benitez

Introducción

El análisis del uso doméstico del agua en zonas urbanas requiere primero algunas precisiones. La primera es que el uso doméstico es sólo uno de los usos del agua en el ámbito urbano, aunque usualmente es el de mayor importancia por su impacto en el bienestar de la población.¹ Los otros usos de agua, que por lo común se presentan dentro de la delimitación geográfica espacial de las ciudades, son el comercial, el industrial y en algunos casos aún se registra el uso agrícola. Esta distinción es importante no solamente para diferenciar los tipos de requerimientos de agua en las zonas urbanas, sino también por la importancia de evaluar la competencia por el agua entre los usos urbanos en una misma zona urbana. En otras palabras, no toda el agua que se utiliza o se consume en las ciudades es para uso particular de personas u hogares. Aunque parezca evidente, éste es un hecho que usualmente se ignora cuando se habla de manera imprecisa de la *demandada de agua para uso urbano*.

Además, es importante identificar la fuente principal de suministro de agua para cada uso urbano, mientras que los usos doméstico y comercial tienden a tener como única o principal fuente a las redes públicas de agua entubada y drenaje. Los otros dos usos (industrial y agrícola) suelen tener sus propias fuentes de agua

¹ En la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 1992) se define el uso doméstico como: «La aplicación de agua nacional para el uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa, en términos del Artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos» (CPEUM, 1917, art. 3). Como es evidente, en esta definición el uso doméstico no se restringe al ámbito urbano, pues se refiere al uso particular de las personas, independientemente de si viven en zonas rurales o urbanas e incluye además el abrevadero de animales, lo cual en un contexto urbano es muy poco frecuente pero es usual en el ámbito rural.

mediante concesiones. En México, el uso doméstico del agua en zonas urbanas frecuentemente tiene como competencia el uso industrial, cuyas concesiones de agua se registran como industria autoabastecida. En las áreas rurales, el uso doméstico compite principalmente con el uso agrícola, aunque también con la industria, particularmente la minera.² Identificar de manera adecuada la competencia entre usos en los espacios urbanos es importante, pues forma parte del problema de la falta de un balance entre los requerimientos de agua para uso doméstico en las ciudades y la aparente falta de agua para este uso en las cuencas y acuíferos en los cuales estas zonas urbanas se ubican. Aunque una de las respuestas más recurrentes a estos desequilibrios ha sido el trasvase o la importación de aguas de fuentes cada vez más lejanas, estas alternativas son insostenibles. Un estudio reciente encuentra que, por cada tres habitantes de una ciudad abastecida por trasvases, habrá al menos una persona que será afectada en la subcuenca de la que el agua provenga (Flörke, Schneider y McDonald, 2018). Las ciudades transfieren su déficit de agua e impactan a poblaciones lejanas, a sus economías y a los sistemas hidrológicos.

Por otra parte, para evitar los riesgos a la salud y la contaminación del ambiente es necesario el tratamiento de las aguas residuales utilizadas, antes de ser vertidas en cuerpos receptores (suelo, cuerpos de agua y acuíferos). En México, el volumen de agua residual tratado en 2015 fue de 120 902 l/s (aprox. 121m³/s); esto equivale a 57 por ciento de lo colectado. En el período de 2000 a 2015, el caudal colectado de aguas residuales aumentó aproximadamente seis por ciento (12 m³/s), con poco más de la mitad del caudal colectado que recibe tratamiento (Conagua, 2016b). Si se tiene en cuenta el crecimiento de la población y de la actividad económica, es muy probable que el caudal colectado haya quedado rezagado del caudal adicional generado. Esto se torna más crítico si se considera que más de 40 por ciento del caudal colectado no se trata.

Según los datos oficiales, de los 121 m³/s tratados en 2015, en total 107 (88 %) fueron utilizados para reúso, aunque en su mayor parte se trata de reúso indirecto.³ En efecto, en el período de 2000 a 2015 el reúso directo se ha mantenido en alrededor de 20 por ciento del volumen tratado. Si se pondera este dato con el porcentaje de caudal tratado (57 %), tenemos que solamente 10 por ciento o menos de las aguas residuales colectadas se aprovechan en reúso directo, esto es, que se

² El consumo de agua para la actividad minera en 2014 fue de 437 millones de metros cúbicos, equivalentes a 12.2 % del volumen extraído que se agrupa bajo el concepto industria autoabastecida (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2016a).

³ En 2016 la Conagua reformuló la manera de reportar la información sobre el reúso de aguas residuales tratadas en tres categorías (Conagua, 2016b): 1) Reúso directo, es la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas, urbanas e industriales antes de su descarga en un cuerpo de agua; 2) reúso indirecto, es la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales tratadas de un cuerpo receptor, después del punto de descarga; y 3) intercambio, es la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales tratadas como fuente de suministro en actividades, donde el usuario deja de emplear el agua de primer uso.

utilizan en actividades antes de ser descargadas a un cuerpo receptor. Del volumen de aguas tratadas que se reutilizan de manera directa, menos de la mitad (40 % en 2014 y 2015) es para intercambio, es decir, que se usa en actividades donde el usuario deja de emplear el agua de primer uso. Esto representa una debilidad en la gestión del agua; el caudal de agua tratada debería recircular en el sistema para poder sustituir agua de primer uso en actividades que no requieren esa calidad. Por otro lado, el reúso indirecto debería asegurarse para proteger o restaurar las fuentes de agua que se encuentran en situación de sobreexplotación o agotamiento.

Otro aspecto que es importante clarificar en el análisis del uso doméstico del agua es la necesidad de conocer el grado de eficiencia con la cual se realiza el suministro a viviendas. En general, las necesidades de abastecimiento se derivan directamente de proyecciones de consumo por habitante, que usualmente se identifican con la dotación promedio, esto es, con la cantidad que resulta simplemente de dividir la cantidad de agua suministrada al sistema entre la población del área urbana que cubre ese sistema, incluyendo las pérdidas de agua y otras ineficiencias en el sistema. Estos requerimientos se proyectan con base en el crecimiento esperado de la población y se toman como las necesidades o la *demand*a de agua para uso doméstico.

En esas estimaciones se asumen de manera implícita dos supuestos: uno, que la población hace un uso racional del agua; y dos, que los proveedores de servicios de agua son técnicamente eficientes. Para promover el consumo eficiente los organismos de captación, tratamientos y suministro de agua (OCTSA) implementan campañas con fondos de la Conagua, dentro del programa Cultura del Agua. Esta estrategia puede tener resultados a largo plazo. Por otro lado, respecto a la eficiencia en el suministro, se registran y reportan indicadores operativos de los OCTSA del país en la publicación anual de la Conagua (2016b) *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento*.

El registro y la publicación de indicadores de desempeño de los OCTSA se basa en el enfoque de *benchmarking*, el cual sugiere la comparación de indicadores para mejorar el desempeño de organizaciones que proveen servicios de agua. Esos indicadores requieren un estándar o referencia; por ejemplo, el número de trabajadores por cada mil conexiones y la cantidad efectivamente cobrada respecto a la facturada, entre otros (Cabrera Jr., Dane, P., Haskins y Theuretzbacher, 2014). Una limitación de esta perspectiva es que se pierde de vista el contexto bajo el cual se suministran los servicios de agua. Particularmente, para el caso de los organismos que proporcionan servicios de agua, se omite el contexto de cuenca y las condicionantes de disponibilidad de agua (tipo de fuentes, calidad, variación estacional del agua, entre otros), así como el contexto institucional local. Existe entonces la necesidad de implementar otras formas de evaluación de la eficiencia de los OCTSA que identifiquen medidas que permitan a los organismos suministrar agua de manera eficiente bajo contextos hidrológicos particulares.

En este capítulo se propone un análisis cuantitativo de la eficiencia de los OCTSA mediante la aplicación de la técnica de análisis envolvente de datos, la cual permite identificar medidas internas para mejorar el desempeño, pero también, y de mayor importancia para este análisis, permite identificar las diferencias que el contexto de cuenca (como fuente natural de agua) y otros factores regionales pueden tener en el *ranking* de eficiencia de los organismos que suministran servicios de agua en las principales zonas urbanas de las tres subregiones hidrológicas de estudio.

El capítulo se organiza de la siguiente manera. En la primera sección se describe, con base en los datos oficiales sobre disponibilidad de agua superficial y subterránea y usos predominantes por municipio, la competencia del uso público (doméstico) urbano con otros usos dentro de las tres subregiones hidrológicas (SRH) de estudio: Bajo Grijalva, Valle de México y Río San Juan.⁴ En esta misma sección se describe brevemente la problemática del uso urbano de agua en las principales zonas urbanas metropolitanas de las subregiones de estudio: zona metropolitana de Villahermosa en la SRH Bajo Grijalva; Ciudad de México en la subregión Valle de México; y área metropolitana de Monterrey, en la de Río San Juan.

En la segunda sección se analiza cuantitativamente la eficiencia de los OCTSA de cada subregión mediante la técnica de análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) (Cooper, Seiford y Tone, 2006). Para ello se utilizó la base de microdatos de los Censos Económicos 2014 del Inegi (2014), específicamente el *Cuestionario para los organismos que realizan la actividad de captación, tratamiento y suministro de agua*.⁵ En esa sección se determinan los niveles de eficiencia de los OCTSA que se encuentran dentro de cada subregión de estudio. Se toma en cuenta el contexto similar de cada subregión y se comparan los resultados por subregión.

Finalmente, en la tercera sección, se presentan las conclusiones del análisis del uso doméstico urbano en su contexto de subregión y su relación con los resultados de eficiencia de los OCTSA. Como resultado final se derivan algunas propuestas de política pública que tienen como premisa, a partir del análisis de este capítulo, que una gestión integral del agua por subregión debe partir de considerar la situación de su contexto hidrológico regional, la competencia entre usos y la eficiencia en el suministro de agua a los habitantes de las zonas urbanas.

⁴ En particular se obtuvieron los datos actualizados del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Conagua (s. f.).

⁵ Este análisis se realizó con el procesamiento de microdatos mediante el servicio del Laboratorio de Microdatos del Inegi, del proyecto Hacia una Gestión Integral del Agua por Cuenca Hidrológica: un Análisis de la Disponibilidad y Usos, financiado por Conacyt en la Convocatoria Problemas Nacionales 2014, número 248719. El autor agradece el apoyo del personal del Laboratorio de Microdatos.

*El uso doméstico urbano en las subregiones hidrológicas Bajo Grijalva,
Valle de México y Río San Juan*

Los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento requieren una amplia infraestructura que usualmente se identifica como el componente más importante para abastecer estos servicios a la población. Como consecuencia, la planeación de los servicios de agua se concentra en general en una creciente inversión en la construcción, el mantenimiento y la ampliación de infraestructura de extracción, tratamiento, conducción de aguas, recolección y tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, en el contexto de una mayor incertidumbre sobre la disponibilidad natural de agua en las fuentes superficiales y el creciente deterioro y sobreexplotación de las fuentes subterráneas, es cada vez más grande la necesidad de incorporar la situación de las cuencas y los acuíferos en la planeación de los usos del agua en las ciudades (Aguilar-Benitez, 2017). No obstante, el enfoque de cuencas es poco frecuente, no sólo en el estudio de uso doméstico urbano del agua, sino también en el campo de la geografía en México, aunque se registra su presencia en el ámbito académico internacional a partir de la década de 1970 (Burgos, Bocco y Sosa, 2015).

El crecimiento de la población en las grandes zonas urbanas requiere, para el abastecimiento de agua, áreas hidrológicas mayores a la cuenca o acuíferos en los cuales esas grandes ciudades se ubican. Una ventaja de utilizar como unidad de análisis la subregión hidrológica para el estudio del uso doméstico urbano es que permite integrar información existente sobre la disponibilidad de agua y sobre los usos comprometidos en las cuencas y acuíferos que la forman con los datos sobre los usos del agua en los municipios que se encuentran dentro de ella.

Una ventaja adicional en el actual contexto de incertidumbre sobre la disponibilidad de recursos hídricos, es considerar que la situación de la subregión es útil para definir los límites de crecimiento que se necesitan para que las grandes zonas urbanas sean sostenibles. También es razonable esperar que la subregión hidrológica pueda permitir la aplicación de políticas públicas en una delimitación hidrológica y política viables (por ejemplo, conjunto de varios municipios de diferentes estados). En las siguientes subsecciones se caracteriza brevemente la situación de los servicios de agua en cada subregión hidrológica en relación con la disponibilidad natural de agua, los usos consuntivos predominantes y las problemáticas del uso doméstico en sus principales zonas urbanas.⁶

⁶ Para la inclusión de los municipios se realizaron cortes definidos por subregiones hidrológicas. En cada una de ellas se identificaron los municipios cuya cabecera municipal se localiza dentro de la subregión. La información sobre la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos, los usos consuntivos predominantes por municipios de cada subregión, así como los datos de los volúmenes concesionados, se obtuvieron en forma cartográfica del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, s. f.), para los

Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)

La SRH-BG también es conocida como Grijalva-Villahermosa. Se localiza en el sureste del país y al noroeste de la Región Hidrológica Núm. 30 Grijalva-Usumacinta (para su caracterización, véanse el primer y segundo capítulo de este libro).

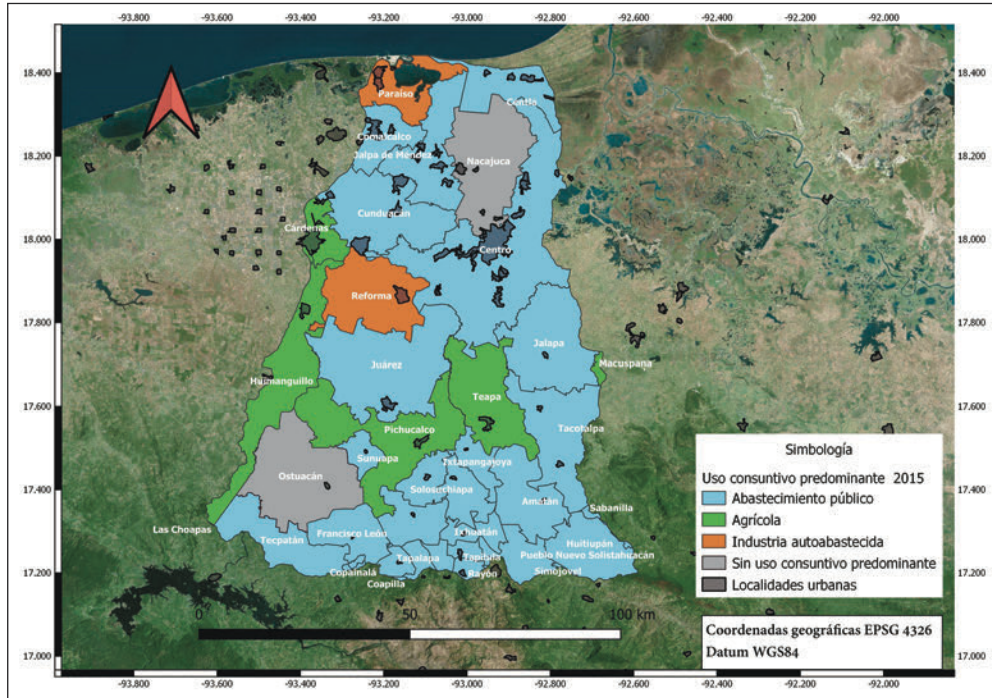
Para caracterizar el uso doméstico en relación con otros usos en la subregión de estudio se identificaron los municipios cuyas cabeceras municipales se encuentran dentro de la delimitación de ésta. Sobre cada municipio se utilizó la información del SINA acerca de los volúmenes concesionados y los usos predominantes. El uso consuntivo predominante lo define la Conagua simplemente como el uso agrupado que tiene concesionado o asignado un volumen mayor a 50 por ciento del volumen concesionado total. El volumen concesionado en 2015 al total de los municipios, cuyas cabeceras municipales se encuentran dentro de la SRH-BG, fue de 447.758 millones de metros cúbicos. En 19 de los 27 municipios que comprende la SRH-BG, el uso consuntivo predominante registrado en 2015 fue el abastecimiento público, dentro del cual está el uso doméstico. Sólo cuatro municipios (Huimanguillo, Cárdenas, Teapa y Pichucalco) registraron como uso predominante el uso agrícola y en dos predominó la industria autoabastecida (Reforma y Paraíso). Los dos municipios restantes (Nacajuca y Ostucán) no registraron uso consuntivo predominante.

La mayoría de los municipios de la subregión (son 16) reportan como fuente predominante para el uso consuntivo las fuentes superficiales de agua, mientras que 11 registran como principal fuente las aguas subterráneas. Se puede ver en el mapa 1, que la mayoría de los municipios en los que se encuentran las zonas urbanas, entre ellas la zona metropolitana de Villahermosa, tienen el uso público como predominante; sin embargo, varias de ellas se encuentran en municipios con uso predominante agrícola y al menos dos, en municipios cuyo uso predominante es el industrial.

La fuente principal para uso urbano en la subregión son las aguas superficiales, con un volumen asignado de 88.55 millones de metros cúbicos en 2015. La zona metropolitana de Villahermosa es la región urbana resultante de la fusión del municipio de Centro (en el cual se localiza la ciudad de Villahermosa) con el municipio de Nacajuca, con el que comparte una conurbación constante que suele denominarse ciudad de Villahermosa. Esta zona metropolitana registró 878 457 habitantes en 2015. Como puede verse en el mapa 1, la mayor parte del área urbana de Villahermosa se concentra en el municipio de Centro. El mayor crecimiento de población en Villahermosa y en la subregión se registró en la década de 1980, derivado del auge petrolero.

años 2015 y 2016 de acuerdo con su disponibilidad. La información cartográfica se procesó usando el *software* QGis v 2.18.13.

Mapa 1. Uso consuntivo predominante por municipio en la SRH-BG



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Conagua (s. f.).

En 2010 la tasa de crecimiento se estimaba ligeramente menor a la nacional (0.69 contra 0.72) (Conagua, 2012a). Hasta 2003 los Servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado del Estado de Tabasco (SAPAET), un órgano estatal desconcentrado, proveía los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales en Tabasco. El 11 de septiembre de 2001, el H. Ayuntamiento Constitucional del Municipio de Centro (2003) solicitó la transferencia de dichos servicios al ayuntamiento y esta transferencia entró en vigor a partir del 23 de abril de 2003. El 2 de mayo de ese mismo año se crea el Sistema de Agua y Saneamiento del Municipio de Centro, Tabasco (SAS), como órgano desconcentrado de la administración pública municipal.

En 2015 la ciudad de Villahermosa contaba con 57 fuentes de abastecimiento de agua (39 pozos, 18 fuentes superficiales) que abastecían un volumen promedio de 419 000 m³, 93.8 por ciento provenía de ríos (Inegi, 2016). Las aguas residuales se descargan en el río Grijalva y en el río Carrizal por varios sitios de vertido (Conagua, 2003). En 2015, el SAS registraba 161 999 tomas: 151 895 domésticas, 8 699 comerciales, 412 industriales y 993 públicas. La red de drenaje está conformada por

más de 680 kilómetros de tubería y poco más de 1 200 coladeras, rejillas, pozos de visita y bocas de tormenta (Esquivel, 2017).

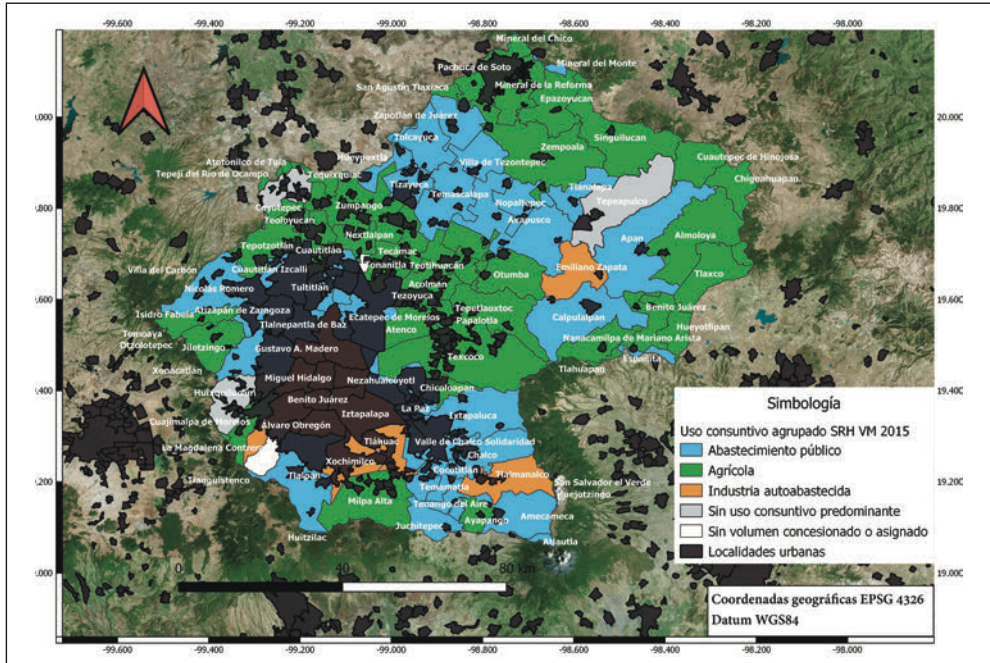
Entre los factores operativos que afectan el desempeño del SAS, se encuentran los siguientes: infraestructura obsoleta, padrón de usuarios no actualizado, tarifas altamente subsidiadas, consumo no medido, alta morosidad en el pago de los servicios y presencia de tomas clandestinas de agua. La infraestructura fue establecida en su mayoría entre 1970 y 1990 (Bautista-Sosa, 2014). La edad de las tuberías y su mal estado hacen que la calidad del agua disminuya debido al desprendimiento de la corrosión y de los sólidos adheridos a las tuberías a medida que el agua es transportada (Quiles-León, 2017). Otro problema ocasionado por la antigüedad de las tuberías, es el de las fugas provocadas por la presión del agua. Se estima que en el municipio de Centro se reparan alrededor de 30 fugas diarias, con costos de reparación de hasta 50 000 pesos. Esto lleva a un desperdicio de 76 800 litros de agua potable por minuto (*MX Político*, 2017). En cuanto al drenaje, se estima que las tuberías fueron instaladas en la década de 1980, por lo que ya cumplieron su vida útil, lo cual produce hundimientos y fugas en diferentes sectores del municipio (Olán, 2015).

Adicional a la antigüedad del sistema de drenaje en Villahermosa, el problema de desalojo de las aguas de lluvia se agrava debido al crecimiento urbano, derivado del cual se pavimentan mayores áreas, lo que ha causado el taponamiento de las áreas de regulación naturales, humedales herbáceos (popales) y arroyos. Los cárcamos existentes son insuficientes para desalojar el agua de las lluvias y 60 por ciento debe ser relocalizado y modernizado, ya que permanecieron en zonas que no son propias para su operación, por lo que es necesaria la construcción de 37 cárcamos nuevos para evitar futuras inundaciones (Xicoténcatl, 2017).

Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM).

La subregión Valle de México se encuentra dentro de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México (para su caracterización, véanse el primer y segundo capítulo de este libro). Debido a su carácter eminentemente urbano, los requerimientos de agua de esta subregión son para uso en las ciudades, y para su abastecimiento se ha recurrido a los recursos hídricos de otras regiones y cuencas (Lerma, Tula y Cutzamala). El volumen concesionado para los municipios de la SRH-VM fue de 1 526 millones de metros cúbicos en 2015. Sin embargo, como se puede ver en el mapa 2, los municipios en los que se localizan las zonas urbanas del Valle de México no tienen un uso predominante público.

Mapa 2. Uso consuntivo predominante por municipio en la SRH-VM



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Conagua (s. f.).

Es importante notar que existe una clara competencia entre los usos público e industrial en la SRH-VM. En 28 municipios, la mayoría del Estado de México y del estado de Hidalgo, el uso predominante fue el público, mientras que en 14 la Conagua concesionó más de 50 por ciento del volumen de agua a la industria autoabastecida. Es importante notar que en 12 delegaciones de la Ciudad de México el uso predominante es el de industria autoabastecida; en dos más, el uso predominante fue agrícola y en una más, la Delegación Magdalena Contreras, se registró sin volumen concesionado. De acuerdo con estos datos, ninguna delegación de la ciudad de México tiene como uso predominante el uso público. En el mapa puede observarse que en la principal urbe del país el agua se concesiona a la industria y en los municipios colindantes, al uso agrícola. Esta situación es incongruente con la recurrente falta de agua para las viviendas en distintas delegaciones de la ciudad, marcadamente para Iztapalapa.

La principal fuente de abastecimiento de agua de la Ciudad de México ha sido el acuífero del Valle de México. La extracción de agua subterránea comenzó en 1847 y fue suficiente para abastecer de agua a la Ciudad de México hasta alrededor de 1965 (Ramírez, 1990, citado en Ezcurra, Mazari, Pisanty-Baruch y Aguilar, 2006).

Esta fuente ha sido sobreexplotada por décadas, con efectos negativos que se han acentuado en los últimos años. En 2004 cerca de 70 por ciento del agua para uso urbano se obtenía de la propia cuenca y 30 por ciento de cuencas externas (Ezcurra *et al.*, 2006). La importación de agua requiere una gran infraestructura.

La SRH-VM cuenta con 11 presas derivadoras y dos acueductos para la conducción de 1 072.9 hm³/año, provenientes de los sistemas Lerma y Cutzamala (Conagua, 2012b). El 26 de septiembre de 2016 se publicaron en el *Diario Oficial de la Federación* (Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas, 2016) estimaciones del volumen de extracción de agua subterránea de 623.8 millones de metros cúbicos anuales por medio de 765 captaciones activas (74 % para uso público urbano, 25 % para uso industrial, 1 % para usos agrícola, pecuario y otros), mientras que la recarga es de 512.8 millones de metros cúbicos al año, de los cuales se estima que 361.8 provienen de recarga incidental, debido a fugas en las redes de distribución, 137 millones por flujo subterráneo y 14 millones por infiltración de agua de lluvia.

El déficit en 2014 se estimó en 591 millones de metros cúbicos anuales. Se pueden esperar como consecuencias de la sobreexplotación del acuífero: la inutilización de pozos, el incremento de los costos de bombeo, la disminución e incluso desaparición de manantiales, los hundimientos diferenciales del terreno con el consecuente daño a la infraestructura urbana y en general el deterioro de la calidad del agua subterránea. Por ejemplo, los hundimientos de hasta 30 cm por año que traen consigo grietas y daños a la infraestructura de drenaje (Abedrop, 2012).

El agua superficial de la SRH-VM contribuye sólo con alrededor de tres por ciento (1.7 m³/s) al abastecimiento de agua urbana de la zona metropolitana del Valle de México. Existen algunas fuentes superficiales de abastecimiento de agua relativamente menores, pero importantes a escala local, como represas de pequeños ríos y manantiales superficiales. El Sistema Cutzamala es la fuente externa de abasto de agua más importante para el Valle de México; está compuesto de un acueducto que transporta a la capital 19 000 litros por segundo, procedentes de ríos y presas del Estado de México.

El suministro de agua entubada y de servicios de drenaje lo proporciona, en la Ciudad de México, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). El SACMEX se creó por decreto del 1 de enero de 2003, con la fusión de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). Este organismo presta los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización. El SACMEX es un órgano desconcentrado de la administración pública y sus facultades se determinan por el Reglamento Interior de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal, ahora Ciudad de México. Al menos parte de la compleja problemática del funcionamiento de SACMEX tiene relación con

la falta de autonomía operativa y financiera del organismo (E. Blanco, comunicación personal, 17 de febrero de 2017).

Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

La Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos, se localiza al noreste del país. Está integrada por siete subregiones hidrológicas: Río Conchos, Presa Amistad-Ojinaga, Bravo Conchos, Medio Bravo, Río Álamo, Río San Juan y Bajo Bravo (Conagua, 2009). En este capítulo, como en los demás del libro (con excepción del primer capítulo, que utiliza una delimitación por cuenca hidrológica) analizamos la SRH-RSJ.⁷

En 2011 se estimaba un volumen de extracción de 1 964 millones de metros cúbicos anuales para la SRH-RSJ; de ese volumen, 437 millones correspondían a uso público urbano. Aunque esta cantidad es menor a la cuarta parte del volumen total extraído para la SRH-RSJ, equivale a 53 por ciento del volumen que se extrae en toda la región Hidrológico-Administrativa VI para uso público urbano (Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos, 2011), lo que ilustra la alta concentración de población en la SRH-RSJ y, por otra parte, la fuerte competencia del uso doméstico con otros usos en la subregión. En 2015 el volumen concesionado para la SRH-RSJ fue de 1 424.5 millones de metros cúbicos; 27 por ciento para abastecimiento público y 71 por ciento para uso agrícola.

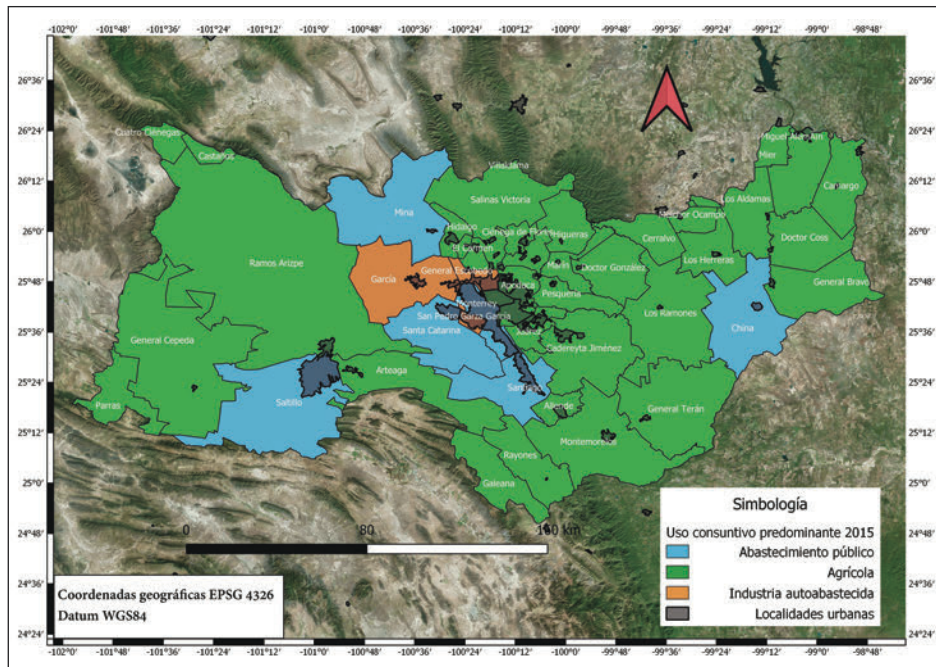
A diferencia de la SRH-VM, la competencia más fuerte en la SRH-RSJ se presenta entre los usos público y agrícola (ver mapa 3). No obstante, en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) la industria autoabastecida registra tres municipios con volumen concesionado predominantemente industrial: San Pedro Garza García, García y General Escobedo. La disponibilidad de agua para uso doméstico en el AMM se ve afectada por la presencia de pozos, la mayoría para uso industrial. Una medida para reducir esta competencia es sustituir agua del acuífero por agua tratada para el uso en la industria (F. Saénz, comunicación personal, 13 de febrero de 2017).

Los servicios de agua potable y drenaje sanitario para el AMM y para el estado de Nuevo León se proveen por Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), considerado uno de los organismos operadores más eficientes del país (Instituto Mexicano para la competitividad [Imco], 2014). El abastecimiento de agua potable para el AMM proviene en 56 por ciento de fuentes superficiales y 44 por ciento de fuentes subterráneas. La infraestructura se compone de tres presas (La Boca, Cerro Prieto y El Cuchillo), 46 pozos profundos de entre 700 y 1 000 m y 74 pozos someros de no más de 100 m de profundidad; un manantial (La Estanzuela), tres

⁷ Para el análisis de uso urbano del agua en este capítulo partimos de la definición oficial de subregiones de la Conagua (2009). La SRH-RSJ tiene una superficie de 30 847.26 km², abarca municipios de los estados de Coahuila (4), Nuevo León (32) y Tamaulipas (3). En 2015, en esos municipios vivían 5 827 614 habitantes.

túneles (Cola de Caballo I, Cola de Caballo II y San Francisco) y una galería filtrante (La Huasteca).

Mapa 3. Uso consuntivo predominante por municipio en la SRH-RSJ



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Conagua (s. f.).

La distribución de agua potable en el AMM se realiza mediante dos grandes anillos de transferencia. El Anillo Uno (construido en la etapa denominada Monterrey III) con una longitud de 70 km y una capacidad de 3 m³/s, y el Anillo Dos (construido en la etapa de desarrollo de infraestructura conocida Monterrey V), con una extensión de 73 km y una capacidad de 6 m³/s. El sistema de distribución cuenta con 1 752 km de líneas de conducción, una red de distribución de 8 390 km de tuberías y 204 tanques de almacenamiento que tienen una capacidad conjunta de 1 287.4 Mm³. Las aguas residuales se recolectan mediante una red de 8 299 km de atarjeas y colectores, y posteriormente depuradas en seis plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Dulces Nombres, Norte, Noreste, Santa Rosa, Zuazua y Salinas Victoria, con una capacidad de tratamiento conjunta de 13.5 m³/s.

En resumen, las condiciones de disponibilidad de las tres subregiones de estudio difieren significativamente. Por disponibilidad natural, la SRH-BG tiene un mayor volumen de agua para su población y para mantener su crecimiento, aunque

la situación deficiente en términos de infraestructura y funcionamiento del SAS se refleja en problemas de abastecimiento de los servicios de agua y drenaje. En las otras dos subregiones, Valle de México y Río San Juan, bajo la situación actual de disponibilidad y usos predominantes establecidos, no existe viabilidad para suministrar una cantidad adecuada de agua para el crecimiento de su población.

Se registra una competencia del uso industrial con el uso público en la SRH-VM, dentro del área urbanizada, mientras que en la SRH-RSJ esta competencia por uso predominante se da con el uso agrícola fuera del área urbanizada y con el uso industrial dentro del área urbanizada. En la SRH-BG no se observa una competencia significativa entre el uso doméstico y otros usos, en parte por la disponibilidad natural de agua y también por la menor dinámica industrial y agrícola en la principal zona urbana (Villahermosa), comparada con las áreas urbanas de las otras dos subregiones (Ciudad de México y área metropolitana de Monterrey). Tanto la disponibilidad de agua como la competencia entre los usos condicionan la viabilidad de abastecer de servicios de agua y drenaje a la población. El otro aspecto determinante para esa viabilidad es la eficiencia de los organismos encargados de ese suministro. En la siguiente sección nos enfocamos en el análisis de la eficiencia de los organismos de captación, tratamientos y suministro de agua (OCTSA).

Eficiencia de los organismos que realizan la actividad de captación, tratamiento y suministro de agua de las subregiones de estudio

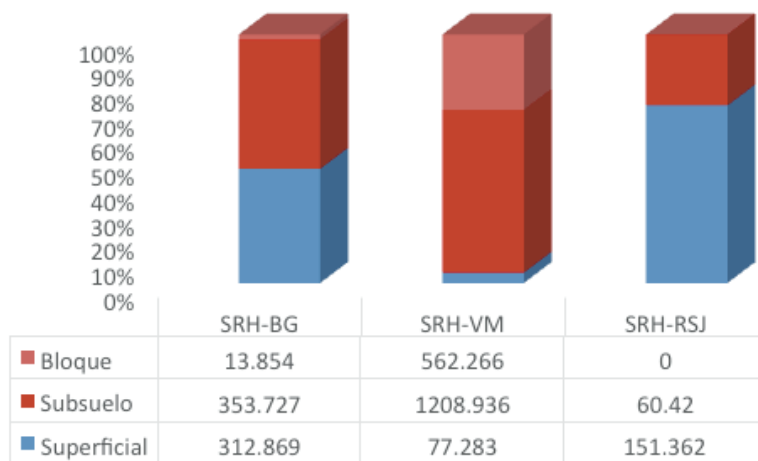
En esta sección se analiza la eficiencia de los organismos que suministran agua entubada y servicios de drenaje en las subregiones hidrológicas Bajo Grijalva, Valle de México y División San Juan. La principal fuente de datos para este análisis es el *Cuestionario para los organismos que realizan la actividad de captación, tratamiento y suministro de agua*, que se aplicó como parte de los Censos Económicos de México del Inegi (2014). La disponibilidad de datos para cada subregión, generada por la información captada por el cuestionario para OCTSA, nos permitió identificar el grado de eficiencia de estos organismos dentro de cada subregión hidrológica.

Para poder analizar la eficiencia de los organismos operadores que reporta el Censo Económico 2014, fue necesario primero identificar los OCTSA pertenecientes a cada subregión. Como es sabido, en México, de acuerdo con los artículos 27 y 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM, 1917), son los municipios los que tienen a su cargo los servicios de agua potable y alcantarillado. La base de microdatos incluye una variable de identificación para los municipios en los que se localiza cada OCTSA; se clasificó por subregión a los OCTSA localizados en los municipios cuyas cabeceras se encuentran dentro de cada una de las tres subregiones hidrológicas de estudio. Al ubicar los OCTSA de cada unidad de estudio por el municipio en el cual se registran, se encontraron 43 en la subregión Bajo

Grijalva; 89 en la del Valle de México y 16 en la División San Juan. Enseguida se caracterizan los OCTSA de cada subregión en los aspectos más importantes relacionados con su eficiencia y contexto hidrológico.

Un dato importante que relaciona la provisión de servicios de agua y drenaje con su contexto hidrológico es el tipo de fuente de la cual los OCTSA captan el agua para suministro. Las fuentes de agua se pueden clasificar en fuentes superficiales o subterráneas, locales o externas (agua comprada en bloque). En las subregiones de estudio, el volumen de captación de los OCTSA difiere por tipo de fuente (ver gráfica 1). Mientras que para las SRH-RSJ y SRH-VM las fuentes del subsuelo son importantes, con más de la mitad del volumen captado (52 % y 65 %, respectivamente), en la Bajo Grijalva las fuentes subterráneas son de menor importancia, menos de la tercera parte del volumen captado (29 %). Por el contrario, las fuentes superficiales son más importantes para la subregión del Bajo Grijalva (71 %). Otra diferencia importante es que la subregión Valle de México registra la compra de agua en bloque con una proporción significativa (30 %), mientras que para la del Río San Juan la importación de agua es baja (2 %) y la de Bajo Grijalva no requiere agua en bloque. Como es evidente, el Valle de México tiene una alta dependencia de agua subterránea y de las importaciones de agua de otras cuencas y acuíferos, lo cual se refleja en el volumen de agua en bloque que compra.

Gráfica 1. Fuente de agua por subregión de estudio, 2014



Fuente: Aguilar-Benitez (2020, p. 125).

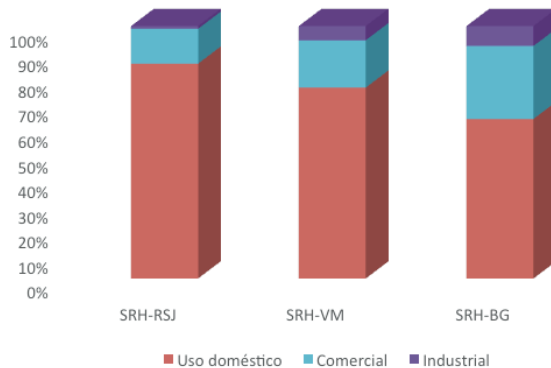
Como se mencionó en la introducción de este capítulo, el uso urbano del agua incluye, además del doméstico, el uso en establecimientos comerciales e industriales conectados a la red pública. Aunque es de esperarse que el uso principal dentro de

un área urbana sea el doméstico, la participación por volumen facturado de agua suministrada por los OCTSA tiene algunas diferencias entre las unidades de estudio.⁸ El uso doméstico utiliza el mayor volumen del total suministrado por OCTSA en la SRH-RSJ (85 %), un poco menos en la del Valle de México (72 %) y el más bajo en la de Bajo Grijalva (59 %).

En la SRH-RSJ el volumen de agua para uso industrial que se abastece por OCTSA es reducido (menor a 1 %), lo cual es notable dado que esta subregión es altamente industrializada. De manera similar, en la SRH-VM el porcentaje es relativamente bajo (5 %). En contraste, en la subregión de Bajo Grijalva el porcentaje es mayor (8 %). Estos datos sugieren que la industria que se localiza en las áreas urbanas, ya sea por el volumen requerido, por la necesidad de certidumbre o por los costos, prefiere autoabastecerse de agua como insumo para sus actividades. Esto también implica descargas adicionales de aguas residuales industriales para el sistema de drenaje, si son colectadas por el sistema público de drenaje o por medio de descargas directamente al ambiente a cuerpos de agua receptores.

De manera un tanto sorprendente, los usos comercial e industrial tienen un mayor peso en el volumen facturado para la SRH-BG comparado con las otras dos subregiones (ver gráfica 2). Es importante también notar que existe un porcentaje de volumen facturado que no se registra en ninguna de las categorías reportadas y que puede corresponder al uso público (edificios públicos y gubernamentales). El porcentaje más alto (7 %) lo registra la SRH-BG.

Gráfica 2. Agua facturada por uso en las tres subregiones, 2014



Fuente: Elaboración propia adaptado de Aguilar-Benitez (2020, p. 127).

⁸ Los datos corresponden a la suma del volumen facturado para el total de los OCTSA registrados en cada subregión durante 2013. Posteriormente, el número de OCTSA incluido en la técnica de análisis envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés) disminuye por la limpieza de datos que fue necesario hacer para la consistencia del análisis.

En cuanto al porcentaje de agua potabilizada, calculado con los datos reportados por los OCTSA de cada subregión, también se registran diferencias. En la SRH-RSJ, 81 por ciento del agua captada es tratada, mientras que en la SRH-VM el porcentaje disminuye a 67 por ciento y en la SRH-BG a 41 por ciento. Parte de esta diferencia entre el volumen captado y el desinfectado puede explicarse por las pérdidas entre la captación y la planta tratadora; sin embargo, en el caso de la SRH-BG esta diferencia es muy alta: menos de la mitad del volumen de agua captada es tratada. La falta de tratamiento del agua entubada es uno de los problemas más graves en la subregión Bajo Grijalva.

Un indicador utilizado para evaluar la eficiencia en el desempeño de los OCTSA es el porcentaje de tomas o conexiones con medición (ver gráfica 3). Usualmente este indicador se reporta sólo para uso doméstico; sin embargo, la base de datos del Censo Económico 2014 reporta la medición en cada uno de los tres principales tipos de uso (doméstico, comercial e industrial). Los OCTSA de la SRH-RSJ reportan un alto porcentaje de medición, arriba de 90 por ciento para los tres usos. En la subregión Valle de México el uso mejor medido es el industrial (76 %), mientras que cerca de la mitad de las conexiones domésticas no cuentan con medición. Éste es un indicador importante para la subregión en la que se localiza la Ciudad de México, la cual concentra alrededor de 40 por ciento de las inversiones en infraestructura para agua del país. Los OCTSA de la SRH-BG tienen el menor porcentaje de medición del consumo, comparado con el de las otras dos subregiones; el más alto se registra en uso comercial, aunque sólo es de 15 por ciento. Estas cifras de baja medición impactan tanto en la eficiencia del uso del agua como en la sostenibilidad financiera de los OCTSA.

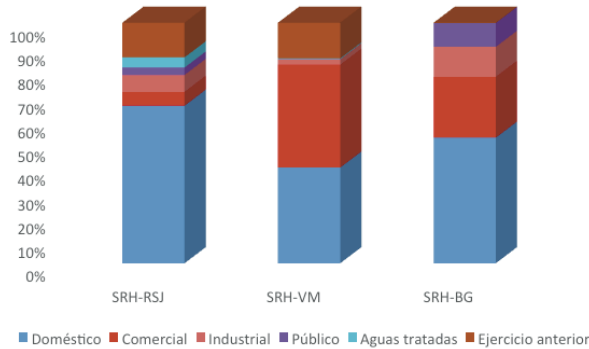
Gráfica 3. Conexiones con medidor en las tres subregiones de estudio, 2014



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Económico (2014).

A pesar de que por volumen de agua facturado el tipo de usuario más importante de los OCTSA es el doméstico, los organismos dependen de los ingresos de otros usos distintos a ese (ver gráfica 4). Esto puede explicarse en parte por la diferencia en las tarifas (subsidio cruzado), pero también por la alta morosidad de los usuarios domésticos. En el caso de los OCTSA de la SRH-VM, 43 por ciento de sus ingresos por suministro provienen del uso comercial. Esta estructura de ingresos puede reflejarse en las prioridades de servicio; en la subregión Valle de México se puede priorizar el servicio a edificios y a zonas con presencia de comercio, mientras que en la SRH-BG los OCTSA dependen en cierta medida de la industria para tener ingresos.

Gráfica 4. Ingresos OCTSA en las tres subregiones de estudio, 2014



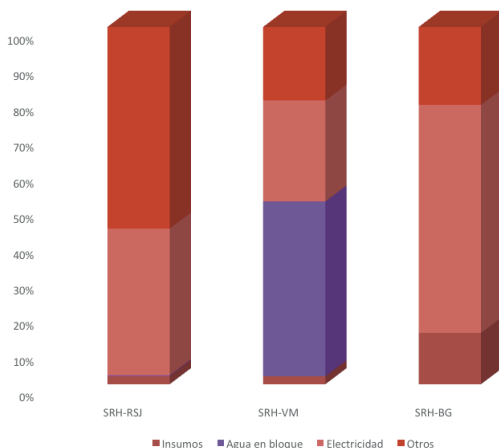
Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Económico (2014).

En el ámbito de la viabilidad financiera, un concepto importante es el de los gastos de los OCTSA en bienes y servicios. Éstos incluyen varios rubros que pueden agruparse en gastos de insumos y gastos de electricidad: en el caso de la SRH-VM, la compra de agua en bloque es un rubro muy importante. Es interesante notar que los OCTSA de la SRH-BG gastan un porcentaje mayor en insumos (14 %) del total de gastos en bienes y servicios y 64 por ciento en electricidad, mientras que los OCTSA del Valle de México gastan casi la mitad del total de gastos para comprar agua en bloque, pero el menor porcentaje en electricidad (ver gráfica 5). De cualquier forma, los gastos de electricidad, como cabe esperar, son de los mayores gastos en los OCTSA de las tres subregiones. Es importante observar que los OCTSA de la SRH-RSJ utilizan más de la mitad de sus gastos en otros conceptos.

Una vez caracterizados los OCTSA de las subregiones de estudio, nos enfocaremos en el análisis de su eficiencia operativa o técnica. Para ello es conveniente conceptualizar los OCTSA como unidades de toma de decisiones (DMU, por sus siglas en inglés). Los OCTSA son organizaciones que toman decisiones y generan múltiples resultados (*outputs*) a partir de un conjunto de insumos (*inputs*). Un

OCTSA genera diversos outputs, por ejemplo, desinfecta o potabiliza cierto volumen de agua, pero también genera ingresos, realiza la conexión de nuevas viviendas a la red de agua y genera volúmenes de aguas residuales tratadas. Para ello, cada OCTSA utiliza diversos *inputs*: mano de obra, electricidad, químicos, redes de distribución de agua e infraestructura de tratamiento.

Gráfica 5. Gastos en las tres subregiones de estudio, 2014



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Económico 2014.

Por otro lado, la naturaleza o la forma de las relaciones entre los *inputs* y los *outputs* de los OCTSA es compleja, diversa y generalmente poco conocida. Aunque cada organismo que suministra servicios de agua utiliza insumos semejantes (electricidad, mano de obra, materiales y equipo), la forma en que combina estos insumos difiere por múltiples razones, como el tipo de fuente de agua, las condicionantes topográficas y el contexto económico, por mencionar algunas. Múltiples *inputs* y *outputs*, así como una relación compleja entre ellos, son características que hacen pertinente la aplicación de la técnica de análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés).

El DEA es una técnica de programación matemática aplicada a datos observacionales disponibles de un número de DMU que permite estimaciones de las relaciones empíricas entre *inputs* y *outputs* (Cooper, Seiford y Tone, 2011). La principal ventaja de esta técnica es su orientación empírica y que requiere pocos supuestos, si se compara con otras metodologías (por ejemplo, los modelos estadísticos de regresión). El análisis envolvente de datos compara las DMU considerando todos los recursos utilizados y los servicios prestados, e identifica las unidades más eficientes y la ineficacia de las unidades en las que es posible mejorar la eficiencia empírica

(Coll y Blasco, 2006). Esto se logra comparando la mezcla y el volumen de los servicios prestados (*outputs*) y los recursos utilizados (*inputs*) de cada unidad en comparación con los de todas las otras unidades.

La eficiencia técnica pone de manifiesto la capacidad de una DMU para obtener el máximo *output* a partir de un conjunto dado de *inputs* (Coll y Blasco, 2006). Con estas estimaciones, el DEA construye una superficie envolvente o frontera de eficiencia empírica; las unidades que determinan la envolvente se denominan unidades eficientes y aquellas que no se encuentran sobre la misma se consideran ineficientes. La metodología del DEA se orienta a fronteras en lugar de enfocarse en tendencias centrales (Cooper *et al.*, 2011). De esta manera, el DEA permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las unidades analizadas.

Se puede definir una DMU con 100 por ciento de eficiencia relativa sólo si existe evidencia disponible de que ninguna otra DMU muestra que algunos de sus *outputs* o *inputs* pueden ser mejorados sin empeorar algunos de sus otros *outputs* o *inputs* (Cooper *et al.*, 2011). En este trabajo tomamos los OCTSA como DMU para el análisis de eficiencia aplicando la técnica del DEA. Agrupamos para este análisis los OCTSA de cada subregión con el propósito de hacer el análisis comparativo de eficiencia técnica en cada contexto de subregión descrito anteriormente, esto es, el tipo de fuentes, la disponibilidad natural de agua y la competencia del uso doméstico con otros usos.

El primer paso para implementar la técnica DEA con la base de datos de OCTSA provenientes del Censo Económico 2014 consistió en limpiar la base de datos inconsistentes. Para el análisis se eliminaron OCTSA que reportaban cero conexiones o cero ingresos; también se eliminaron los OCTSA con número total de conexiones inconsistentes para uso doméstico (esto es, un número de conexiones domésticas menor a la suma de las conexiones comerciales más las industriales). Finalmente, se eliminaron los OCTSA que registraron cero kilómetros de redes de distribución de agua potable, aunque es posible que existan organismos en pequeñas comunidades que suministren agua sin tuberías.

En este caso sólo se consideran las organizaciones con al menos un kilómetro de red. Como resultado de la limpieza de la base de datos, el número de OCTSA para las subregiones de estudio fue el siguiente: la SRH-BG, mantuvo 15 OCTSA de un total de 43 que se identificaron en la base original; la SRH-VM, mantuvo 75 OCTSA de un total de 89 que registraron información consistente; y la SRH-RSJ, registró 8 OCTSA de un total de 16 en la base completa. Es de notar que en la SRH-BG dos terceras partes de los organismos registrados para la captación, el tratamiento y el suministro de agua no asientan información completa, lo cual puede indicar que los servicios de agua en esta subregión se proporcionan mediante pequeñas organizaciones que no tienen la infraestructura de un organismo operador típico. En cuanto a la División San Juan, la mitad del número original registró información completa. Esto indica que un

número considerable de organizaciones que proveen servicios de agua no cuentan con las características típicas de un organismo operador. En el Valle de México hay una proporción más alta de OCTSA, lo que sugiere que esta subregión cuenta con organismos operadores típicos, lo cual puede explicarse por el alto nivel de urbanización y de inversión en infraestructura hídrica en ella.⁹

Una vez identificados los OCTSA como unidades de análisis de cada subregión, se procede a definir los elementos del modelo DEA. Una parte importante del análisis es la selección y la definición de variables, como *inputs* y *outputs*, pues una limitación de la técnica del DEA es su sensibilidad a la selección de variables. Otra limitación es que no explica errores en los datos (Cooper *et al.*, 2006; Molinos-Senante, Sala-Garrido y Lafuente, 2015). La selección de variables que se incluyen en el modelo DEA en este trabajo se basó en la revisión de literatura y la disponibilidad de datos provenientes de los Censos Económicos 2014.

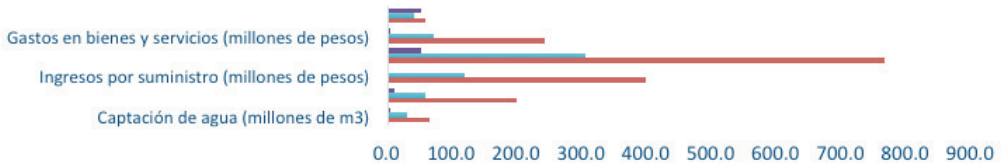
Es importante notar que el uso de otras variables es limitado por la falta de disponibilidad de información; por ejemplo, debido a que en las subregiones Bajo Grijalva y Valle de México se registran deficiencias en la medición de consumo de agua en varios OCTSA, sería poco confiable usar como variable *output* el volumen de agua cobrado. Más aún, debido al número reducido de OCTSA con información completa (ocho en el caso de la SRH-RSJ) fue necesario elegir un número de variables adecuado al número de OCTSA para obtener resultados robustos. Con un conjunto muy grande de variables en el modelo, la eficiencia relativa de discriminación entre unidades (OCTSA) tenderá a ser confusa y siempre habrá alguna dimensión conforme a la cual una unidad puede ser considerada eficiente (Tupper y Resende, 2004, citado en Molinos-Senante *et al.*, 2015).

Por lo tanto, se utilizó sólo una variable *output* (el total de ingresos por suministro) y tres variables *input* (el total de personal, número empleados), las redes de abastecimiento de agua (km) y el volumen captado de agua (hm³). Estas variables se crearon a partir de los datos originales obtenidos mediante la aplicación del cuestionario para OCTSA de los Censos Económicos de 2014 del Inegi. La variable total del personal se generó con la suma de los datos de: personal dependiente de la razón social (que incluye el personal contratado directamente y el personal de planta eventual y no reenumerado sujeto a la dirección y control del OCTSA) y no dependiente de la razón social (personal que trabaja para el organismo pero depende de otra razón social) y que a su vez se descompone en personal técnico y administrativo.

⁹ De acuerdo con datos de la Conagua, 47 % de un presupuesto total de 128 000 millones de pesos de inversión en proyectos prioritarios de agua se destinan al Valle de México (Conagua, 2017, Proyectos estratégicos de agua potable, drenaje y saneamiento).

La variable longitud de redes de agua incluye la suma de las redes primaria y secundaria reportada en kilómetros. El volumen captado de agua se reporta en la base de datos como captación propia total en miles de metros cúbicos e incluye la captación propia en mantos (fuentes superficiales) y la captación propia en acuíferos (fuentes subterráneas). Los ingresos por suministro incluyen: los ingresos por facturación (doméstica, comercial, industrial y pública), la venta de agua tratada, la venta de agua de pipas, los derechos de conexión, la venta de lodos y los ingresos derivados de ejercicios anteriores (miles de pesos corrientes en 2013). La gráfica 6 muestra los promedios de las variables utilizadas en el DEA por subregión. Como puede verse, en general los valores promedio más altos corresponden a los OCTSA de la SRH-RSJ, los medios a la SRH-VM y los más bajos a la SRH-BG.

Gráfica 6. Características de OCTSA (promedios por subregión hidrológica)



	Captación de agua (millones de m3)	Conexiones domésticas (miles)	Ingresos por suministro (millones de pesos)	Total de personal	Gastos en bienes y servicios (millones de pesos)	Longitud de redes (cientos de km)
■ Bajo Grijalva	4.8	11	1.8	52	3.58	51.9
■ Valle de México	30.6	59	120.7	307	71.75	41.5
■ Río San Juan	64.8	200	399.0	768	243.35	59.1

Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Económico (2014).

Aunque la técnica del DEA tiene como ventajas que no requiere supuestos sobre la forma en que los *inputs* se relacionan con los *outputs* (equivalente, por ejemplo, a una función de producción particular, como la ampliamente utilizada Cobb-Douglas en modelos econométricos) ni tampoco sobre los pesos (importancia) que tenga cada *input*, sí necesita algunas especificaciones. La primera de ellas es la orientación; ésta puede ser hacia los *inputs*. Las DMU buscan, dado el nivel de *outputs*, la máxima reducción proporcional en el vector de *inputs* mientras permanecen en la frontera de posibilidades de producción. Una unidad no es eficiente si es posible disminuir cualquier *input* sin alterar sus *outputs*.

En el caso de la orientación hacia los *outputs*, las DMU buscan, dado el nivel de insumos (*inputs*), el máximo incremento proporcional de los productos (*outputs*) permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción. Una unidad

eficiente no puede incrementar cualquier *output* sin incrementar ningún *input* y sin disminuir otro *output* (Coll y Blasco, 2006). En este trabajo se asume la orientación hacia los *inputs*, pues un OCTSA tiene como objetivo principal la cobertura de todas las viviendas que se encuentran en su área de servicio; en este caso, los *outputs* se pueden considerar fijos (al menos en el corto plazo). Los resultados obtenidos tendrán entonces el ajuste en número negativo para cada *input* que pueda ser ajustado, la reducción que se puede hacer para mejorar la eficiencia en cada insumo.

Otro aspecto relevante por definir, en la aplicación de la técnica DEA, es el tipo de rendimientos a escala, constantes o variables. Asumir rendimientos constantes de escala implica que un incremento porcentual del *output* es igual al incremento porcentual de los *inputs*. Por otro lado, asumir rendimientos variables de escala implica que un incremento porcentual del *output* puede ser mayor o menor que el incremento porcentual en *inputs*. El modelo Banker, Charnes y Cooper (BCC), que asume rendimientos variables a escala, parece ser más apropiado para los OCTSA, pues el tratamiento de rendimientos constantes a escala (también conocido como el modelo Charnes, Cooper y Rhodes [CCR]) es menos flexible, dado que requiere que para que una DMU sea eficiente, lo debe ser en escala y técnicamente. En el caso que aquí se estudia, se tendría que asumir que cada OCTSA se encuentra en su nivel de eficiencia en escala (tamaño) óptimo. El modelo BCC es más flexible y permite rendimientos variables a escala (Bowlin, 1998).

El modelo BCC puede plantearse de la siguiente manera: hay que suponer que se tiene un número n de DMU, donde cada DMU_j ($j=1,2,\dots,n$) produce los mismos *outputs* en diferentes cantidades y_{rj} ($r=1,2,\dots,s$) usando los mismos *inputs*, x_{ij} ($i=1,2,\dots,m$), también en diferentes cantidades. Formalmente, el modelo BCC se formula como un problema de programación lineal de la manera siguiente (Bowlin, 1998):

$$\text{Minimizar: } \theta - \epsilon[\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+]$$

$$\text{Sujeto a: } 0 = \theta x_{i0} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^-$$

$$y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+$$

$$1 = \sum \lambda_j$$

$$0 \leq \lambda_j; s_i^-, s_r^+ \text{ para } i = 1, \dots, m; r = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n$$

El conjunto de soluciones posibles genera un límite superior que envuelve todas las observaciones, de ahí el nombre de análisis envolvente. En su formulación como problema de programación lineal, la diferencia básica entre el modelo BCC (rendimientos

variables de escala) y el CCR (rendimientos constantes de escala) es la restricción que la suma de λ_j sea igual a 1. Se corrió el modelo BCC para cada subgrupo de OCTSA en cada SRH.¹⁰ Las opciones seleccionadas para el modelo fueron las siguientes: medida de eficiencia radial, orientación *input*, rendimientos de escala variables (VRS, por sus siglas en inglés), cálculo de ajuste en dos etapas, con eficiencia fuerte. Los cuadros de resultados por subregión muestran los ajustes o movimientos en los *inputs* que se pueden hacer para mejorar la eficiencia. El signo negativo implica reducciones en los *inputs* que se utilizan en cada OCTSA (DMU) para lograr el *output* que se asume como dado (mantener los ingresos actuales en cada OCTSA por suministro de servicios). En el caso del *output*, es posible esperar ajustes de holgura (*slack movement*), lo que implica que los ajustes identificados en *inputs* permitirían ingresos adicionales a los actuales por el suministro eficiente de servicios.

Referente a la subregión Bajo Grijalva, se analizaron 15 OCTSA, de los cuales cinco (33 %) resultaron eficientes y uno con puntaje de 0.98 que se puede considerar cercano a la eficiencia de 100 por ciento (ver cuadro 1). Es importante señalar que en esta subregión el tamaño de los OCTSA por número de personal es el menor de las tres subregiones: en promedio 52 empleados entre un rango de 2 a 166 empleados. Este dato, aunado al hecho de que más de la mitad de los OCTSA registrados en el Censo Económico quedaron fuera del análisis por reportar falta o inconsistencia de datos, sugiere que las actividades de captación, tratamiento y suministro de agua en esta subregión se realizan con organizaciones distintas a un organismo operador. Los OCTSA ineficientes registran un puntaje de 0.40 en promedio. En estos organismos se podrían hacer significativas reducciones en los tres *inputs* (personal, redes y captación de agua) si fueran eficientes, sin afectar los ingresos actuales. Es significativo notar el fuerte ajuste que se tendría que hacer para mejorar la eficiencia en cuanto a volumen de agua captado, desde 44 por ciento hasta 86 por ciento del volumen captado actualmente.

La eficiencia promedio de los OCTSA de la subregión hidrológica Valle de México es de 60 por ciento. Sólo 19 OCTSA (25 %) de un total de 75 pueden considerarse 100 por ciento eficientes (ver cuadro 2). Este resultado es más notable si se considera que en esta subregión se ha concentrado la mayor inversión pública en infraestructura de agua. El puntaje promedio de los OCTSA ineficientes es menor a 50 por ciento.

Es importante también tomar en cuenta que los OCTSA de la subregión registran una gran variedad de tamaño por número de personal, desde uno hasta casi once mil trabajadores (el mayor en tamaño por número de empleados del país). Esta dispersión de tamaño por número de empleados hace más pertinente el uso del modelo de rendimientos variables de escala, el cual permite evitar el supuesto de

¹⁰ Se utilizó el software MaxDEA 7 Basic, el cual, además de permitir correr los modelos CCR y BCC sin límite de observaciones, tiene la facilidad de importar y exportar datos entre distintos programas (DBase, Excel, Stata), lo cual fue necesario para este trabajo.

tamaño óptimo para todos los OCTSA de la subregión. El promedio de empleados es 307, promedio menor al de la SRH-RSJ. Esta dispersión se nota también en los puntajes de eficiencia; con media de 0.6 y una desviación estándar de 0.30. En cuanto a volumen de agua captado, la reducción equivale en promedio a 44 por ciento; esto es, los organismos que no son eficientes podrían reducir casi la mitad de su volumen captado sin afectar su output si fueran eficientes. Este resultado es relevante dado el alto volumen de agua en bloque que esta subregión importa para uso doméstico.

Cuadro 1. Resultados de análisis DEA en la SRH-BG

<i>DMU (OCTSA ID)</i>	<i>Score</i>	<i>Ajustes (reducción)</i>			
		<i>Personal (#)</i>	<i>Redes agua (km)</i>	<i>Agua captada (miles de m³)</i>	<i>Ingresos (pesos)</i>
2662	1	0	0	0	32 000
2670	1	0	0	0	116 000
2674	1	0	0	0	8 842 000
2682	1	0	0	0	127 000
2686	1	0	0	0	2 000
2680	0.98	0.62	413.86	-11 257.24	3 001 000
2678	0.61	1.55	9.31	230.6	41 000
2681	0.56	14.01	7.97	323.4	41 480
2665	0.45	59.23	910.44	10 168.86	3 956 000
2685	0.33	111.79	374.12	15 589.07	4 413 000
2664	0.32	62.1	524.19	4 233.89	2 373 000
2679	0.30	13.93	29.19	86.19	4 000
2688	0.27	87.34	18 445.2	3 483.07	2 163 000
2663	0.24	61.2	9 981.76	3 153.92	1 505 000
2684	0.14	23.25	72.33	1 978	133 000

Fuente: Elaboración propia.

Los OCTSA de la SRH-RSJ muestran un promedio de puntaje de eficiencia alto (94 %). Como una característica general, el tamaño promedio por número de empleados es de 768, aunque en un rango que va de 5 hasta 5 478 empleados. Seis de los ocho OCTSA que se encuentran en la subregión son 100 por ciento eficientes (ver cuadro 3); sólo dos se consideran ineficientes. Puesto que los seis OCTSA son 100 por ciento eficientes, no requieren reducir ninguno de sus *inputs*. Los dos OCTSA ineficientes promedian un puntaje de eficiencia de 77 por ciento. Respecto a los ajustes en insumos, el OCTSA menos eficiente podría reducir 31 por ciento de su personal y hasta 72 por ciento la extensión de redes de agua. Un aspecto particularmente importante para este trabajo es que el OCTSA con menor eficiencia de la SRH-RSJ puede reducir el

equivalente a 31 por ciento del volumen de agua. No obstante, el volumen de agua que puede ser reducido en los dos OCTSA ineficientes para mantener la eficiencia es relativamente bajo (23 %).

Cuadro 2. Resultados de análisis DEA SRH-VM (resumen)

OCTSA (#)	Score (rango)	Ajustes promedio (reducción)			
		Personal (prom. #)	Redes (prom. km)	Agua captada (prom. miles de m ³)	Ingresos por suministro (promedio en pesos)
19	1	0	0	0	381 554 600
6	0.8-0.92	17.2	25.3	1 138.2	52 095 900
5	0.61-0.79	181.6	294	13 130.6	149 500 400
12	0.5-0.59	50.9	130.1	4 935.6	30 053 100
10	0.4-0.48	81.5	87.4	7 263.2	21 484 800
9	0.3-0.39	72.4	1, 644.1	15 535.2	15 786 900
8	0.24-0.29	15.3	197.4	1 443.9	2 305 900
6	0.08-0.19	15.8	779	5 025.1	2 386 900

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Resultados de DEA de la SRH-RSJ

DMU	Score	Ajustes (reducción)			
		Personal (#)	Redes agua (km)	Agua captada (miles de m ³)	Ingresos por suministro (pesos)
2577	1	0	0	0	992 000
2576	1	0	0	0	3 385 000
2574	1	0	0	0	2 611 657 000
2573	1	0	0	0	19 866 000
2572	1	0	0	0	67 223 000
2570	1	0	0	0	477 241 000
2575	0.86	10.48	18.93	134.34	7 905 000
2571	0.69	5.63	60.08	344.94	3 591 000

Fuente: Elaboración propia.

Entre los hallazgos más relevantes del análisis de eficiencia se destaca que los OCTSA de la SRH-RSJ reportan mejores puntajes de eficiencia y menores reducciones posibles en las tres variables operativas (*input*) analizadas (personal, redes de agua y volumen de agua captado). Un aspecto notable de estos resultados es que

más de la mitad de los OCTSA de la subregión hidrológica Valle de México muestren ineficiencia técnica operativa. Esta subregión concentra el mayor grado de urbanización, la mayor densidad poblacional, la menor disponibilidad de agua (ver el primer capítulo de este libro) y, paradójicamente, la mayor concentración de la inversión en infraestructura hídrica de las últimas décadas en el país. Este resultado sugiere la necesidad de replantearse si la concentración de inversión pública en infraestructura es la mejor vía para mejorar la eficiencia de los servicios de agua a la población. Sugiere también la necesidad de identificar y resolver las ineficiencias de los OCTSA de la subregión antes que realizar mayores inversiones en infraestructura en organismos que seguirán siendo ineficientes.

Un aspecto que tomó particular interés en el análisis de este trabajo fue la eficiencia en relación con el volumen captado de agua por los OCTSA de las subregiones de estudio. Se observa que en la SRH-RSJ las potenciales reducciones en el volumen captado son relativamente bajas, lo que indica un uso eficiente en relación con los OCTSA eficientes de la misma subregión. Es notable que la subregión Bajo Grijalva, en la que aparentemente se tiene una mayor disponibilidad de agua, se registre un alto volumen captado que podría reducirse con una operación eficiente 49 por ciento. Esto puede explicarse por una falta de incentivos para cuidar el agua ante la aparente alta disponibilidad. Sin embargo, en la subregión Valle de México, los OCTSA ineficientes de la subregión podrían reducir en promedio 44 por ciento el volumen captado si funcionaran como los OCTSA más eficientes de la subregión. Esto tiene fuertes implicaciones para la aparente crisis de disponibilidad de agua para uso doméstico urbano, principalmente en el caso de la región Valle de México. Si los organismos ineficientes logran el nivel de eficiencia de los organismos eficientes dentro de la subregión, se requeriría un significativo volumen menor de agua que el que se proyecta en el escenario de ineficiencia actual.

Conclusiones

En este capítulo se ubica el uso doméstico urbano del agua en el contexto hidrológico, utilizando como unidades de análisis comparativo tres subregiones hidrológicas, partiendo de la propuesta analítica de este libro. Un primer aspecto notable que resulta de ubicar el uso doméstico urbano en su contexto de subregión es que este uso se encuentra en competencia con otros usos en las áreas urbanas. En efecto, los datos disponibles muestran que los usos industrial y agrícola registran mayores volúmenes de agua concesionados en varios municipios que se encuentran en zonas urbanas de las subregiones Valle de México y Río San Juan.

Esta situación es relevante, pues modifica la aparente problemática de escasez del líquido que se argumenta existe en esas subregiones para atender los requerimientos de agua para uso doméstico. En realidad, el agua de las fuentes para las zonas urbanas, como lo muestran esas dos subregiones, se destina mayormente

para satisfacer requerimientos de otros usos; en estos casos, para el industrial. Esta situación sugiere la necesidad de revisar los procesos para determinar la disponibilidad natural de agua y los criterios para la asignación y la renovación de concesiones. En particular, se debe revisar la aplicación del orden de prelación que la Ley de Aguas Nacionales aún vigente establece. Una implicación directa de política pública es que antes de aprobar cuantiosas inversiones en infraestructura hídrica, se deben revisar las prioridades de uso en las zonas urbanas, específicamente las concesiones para uso industrial, su vigencia, la regulación aplicable y la necesidad de reasignar esas concesiones al uso público urbano. De esto se deriva la necesidad de que se establezca un orden de prelación de manera clara en las leyes estatales de agua.

Por otro lado, en este capítulo se propone que una de las condiciones necesarias para cubrir los requerimientos de agua para uso doméstico es lograr la eficiencia operativa de los organismos encargados de proveer esos servicios. La eficiencia operativa puede tener varias condicionantes, por lo que en este caso es razonable asumir que el contexto de subregión hidrológica proporciona un contexto similar en cuanto a condiciones de disponibilidad de agua y aspectos institucionales que permiten la comparación empírica del desempeño de los OCTSA. Cada organismo se compara con los otros organismos de la misma subregión hidrológica.

En general, el análisis comparativo del uso doméstico urbano en las tres subregiones de estudio nos permite concluir que en las propuestas de gestión para resolver la problemática de los servicios de agua en las zonas urbanas del país se deben tomar en cuenta la competencia entre usos y la eficiencia de los OCTSA. La aparente escasez de agua para uso doméstico urbano es relativa si se considera que otros usos en las zonas urbanas se priorizan y compiten con el agua para uso directo de sus habitantes. Ese ámbito de competencia entre los usos sugiere que, en lugar de las políticas de inversión en infraestructura para traer agua de fuentes lejanas o profundas, se deben revisar primero los criterios de asignación entre los usos de los volúmenes de agua disponibles.

Por otro lado, como el caso de la subregión Bajo Grijalva muestra, no es suficiente contar con una disponibilidad natural de agua suficiente para la población para que se provean servicios de agua de manera suficiente. Un aspecto necesario es mejorar la eficiencia operativa de los OCTSA en el uso de la infraestructura y en los insumos. El insumo más importante es el agua y, por lo tanto, debería optimizarse. Los resultados de este trabajo muestran que, en el caso de OCTSA ineficientes, es posible reducir el volumen de agua captado y lograr un mejor nivel de eficiencia técnica. Estos dos aspectos proporcionan elementos que justifican una modificación sustantiva de la orientación actual de una política pública enfocada en la creación de infraestructura hídrica (acueductos, desaladoras, etc.) para llevar agua a las ciudades, a una política hídrica enfocada en una mejor gestión de usos y en la promoción de una mayor eficiencia.

Referencias

- Abedrop, S. (coord.). (2012). *El gran reto del agua en la ciudad de México. Pasado, presente y perspectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo*. Ciudad de México: Sistema de Aguas de la Ciudad de México.
- Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 2 de junio de 2011. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5192916&fecha=02/06/2011
- Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Zona Metropolitana de la Cd. de México, clave 0901, en la Ciudad de México, Región Hidrológico-Administrativa Aguas del Valle de México. (2016). *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 26 de septiembre de 2016. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5453759&fecha=26/09/2016
- Aguilar-Benitez, I. (2020). El uso doméstico urbano del agua en el contexto de subregiones hidrológicas: Bajo Grijalva, Valle de México y San Juan. En I. Aguilar-Benitez (coord.), *Gestión del agua en México: sustentabilidad y gobernanza* (pp. 97-140). México: El Colef.
- Aguilar-Benitez, I. (enero-marzo de 2017). Uso urbano del agua en el contexto de sus subregiones hidrológicas: Bajo Grijalva, Valle de México y San Juan. *Cuencas de México*, (8), 3-10.
- Ayuntamiento Constitucional del Municipio de Centro. (3 de mayo de 2003). Acuerdo por el que se crea el Sistema de Agua y Saneamiento del municipio de Centro "SAS". Suplemento E del periódico oficial número 6329.
- Bautista-Sosa, G. (2014). La ciudad de Villahermosa y su relación con los cuerpos de agua: su decadente sistema de cárcamos y alcantarillado. *Historias Patrias*, 1(2), 10-13.
- Bowlin, W. F. (1998). Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA). *The Journal of Cost Analysis*, 15(2), 3-27. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/08823871.1998.10462318>
- Burgos L., Bocco, G. y Sosa, J. (coords.). (2015). *Dimensiones sociales en el manejo de cuencas*. Ciudad de México: CIGA-UNAM/Fundación Río Arronte.
- Cabrera Jr., Dane P., Haskins, S. y Theuretzbacher-Fritz, H. (2014). *Benchmarking para servicios de agua*. España: IWA Publishing/American Water Works Association/Grupo Aguas de Valencia/Universidad Politécnica de Valencia.
- Coll, V. y Blasco, O. M. (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. Introducción a los modelos básicos*. España: Universidad de Málaga. Recuperado de https://www.academia.edu/6896366/EVALUACION_DE_LA_EFICIENCIA_MEDIANTE_EL_ANALISIS_ENVOLVENTE_DE_DATOS_INTRODUCCI%C3%93N_A_LOS_MODELOS_B%C3%81SICOS

- Cooper, W. W., Seiford, L. M. y Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and its Uses: With DEA-Solver Software and References*. EE. UU.: Springer. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/0-387-29122-9>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. y Zhu, J. (2011). *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Boston, MA: Springer. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (s. f.). Sistema Nacional de Información del Agua [base de datos]. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2003). Términos de referencia de diagnósticos de la infraestructura física de los sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial de las principales zonas urbanas del estado de Tabasco. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Licitaciones/aa-069-1013/5.TERREftabasco.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2009). *Subregiones Hidrológicas, escala 1:250 000. República Mexicana* [base de datos]. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=sbrh250kgw>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2012a). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XI Frontera Sur*. Ciudad de México: Semarnat. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/11-SGP-17-12PS.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2012b). *Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa XIII Aguas del Valle de México*. Ciudad de México: Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016a). *Estadísticas del agua en México*. Ciudad de México: Autor. Recuperado de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/03/Estadisticas-del-Agua-en-Mexico_2016.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016b). *Situación del subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*. Ciudad de México: Semarnat. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184667/DSAPAS_2016_web_Parte1.pdf y de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184668/DSAPAS_2016_web_Parte2.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2017). *Proyectos estratégicos. Agua potable, drenaje-saneamiento*. [Presentación PowerPoint]. Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/proyectos-estrategicos-28811>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM). (1917). (31 de enero de 1917). *Diario Oficial de la Nación*. 5 de febrero de 1917.
- Esquivel, V. (5 de junio de 2017). Tiene Villahermosa 60 alcantarillas enterradas. *Tabasco Hoy*. Recuperado de <http://www.tabascohoy.com/nota/392496/tiene-villahermosa-60-alcantarillas-enterradas>

- Ezcurra, E., Mazari, M., Pisanty-Baruch, I. y Aguilar, G. (2006). *La cuenca de México. Aspectos ambientales críticos y sustentabilidad*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Flörke, M., Schneider, C. y McDonald, R. I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*, 1(1), 51-58. Recuperado de <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8>
- Instituto Mexicano para la Competitividad (Imco). (2014). Guía para la creación de organismos metropolitanos de agua potable y saneamiento en México. México: IMCO/Embajada Británica en México. Recuperado de <https://imco.org.mx/guia-para-la-creacion-de-del-organismos-metropolitanos-de-agua-potable-y-saneamiento-en-mexico/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2014). Censos Económicos 2014. <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/default.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2016*. México: Autor. Recuperado de <https://transparencia.tabasco.gob.mx/media/INDETAB/2017/3/359286.pdf>
- Ley de Aguas Nacionales (LAN). (1992) *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 1 de diciembre de 1992 (última reforma publicada el 6 de enero de 2020). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf
- Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R. y Lafuente, M. (2015). The role of environmental variables on the efficiency of water and sewerage companies: a case study of Chile. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(13), 10242-10253. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4225-0>
- MX Político*. (13 de abril de 2017). Se desperdician 76 mil litros de agua por minuto. Recuperado de <http://mxpolitico.com/tabasco/seguridad/se-desperdician-76-mil-litros-de-agua-por-minuto>
- Olán, F. (4 de julio de 2015). Tiene Villahermosa drenaje de 80 años. *Tabasco Hoy*. Recuperado de <http://www.tabascohoy.com/nota/257451/tiene-villahermosa-drenaje-de-80-anos>
- Quiles-León, B. (28 de septiembre de 2017). Entrevista por Azahara Mesa [transcripción Rosario Vázquez Tobilla]. Proyecto PDCPN-2014-248719, «Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrológica: Un análisis de la disponibilidad y usos», Problemas Nacionales 2014 del Consejo de Ciencia y Tecnología (Conacyt).
- Xicoténcatl, F. (13 de junio de 2017). Le urgen a Villahermosa 37 nuevos cárcamos. *Tabasco Hoy*. Recuperado de <http://www.tabascohoy.com/nota/394010/le-urgen-a-villahermosa-37-nuevos-carcamos>

VALOR ECONÓMICO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE LAS TRES SUBREGIONES HIDROLÓGICAS DE ESTUDIO

Jorge A. Morales-Novelo / Daniel A. Revollo-Fernández / Lilia Rodríguez-Tapia*

Introducción

Uno de los sectores que consume gran cantidad de agua a escala mundial es el industrial, después de la agricultura y el uso doméstico. Según Dupont y Renzetti (2001), el sector industrial manufacturero utiliza el agua principalmente para tres propósitos: 1) para limpiar y transportar otros insumos intermedios, así como para generar productos finales, tales como alimentos y bebidas; 2) para refrigerar insumos intermedios en la producción de combustibles a base de petróleo; y 3) para una variedad de propósitos diversos, tales como limpieza de plantas y saneamiento personal. Sin embargo, en la mayoría de los países emergentes o en vías de desarrollo, el valor monetario que tiene dicho recurso no necesariamente refleja su verdadero valor, por lo que no se paga el costo real del agua y esto no permite tomar conciencia de un uso sostenible (Aylward, Seely, Hartwell y Dengel, 2010; Ku y Yoo, 2012, Revollo-Fernández, Rodríguez-Tapia y Morales-Novelo, 2019).

El conocimiento sobre el valor económico del agua tanto en general como por sectores económicos es útil para una adecuada gestión del agua (Dupont y Renzetti, 2001). En primer lugar, ofrece una herramienta a los tomadores de decisión en temas de agua para la ejecución de inversiones futuras sustentadas en criterios técnicos (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). En segundo lugar, la evaluación económica es importante porque permite determinar si las empresas están a favor o no de

* Los autores reconocen y agradecen a la Dra. Carolina Massiel Medina Rivas, Cátedra Conacyt adscrita al Departamento de Economía de la UAM-A, la elaboración de las bases georreferenciadas y los mapas, así como sus valiosos comentarios que mejoraron la argumentación de la investigación. También se reconoce el eficiente trabajo del Laboratorio de Microdatos del Inegi en el procesamiento especial a partir del Cuestionario para los Organismos que realizan la actividad de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua.

proyectos destinados para el abastecimiento de agua (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). Y, finalmente, dicho conocimiento es útil para evaluar el diseño y la implementación de la política pública, pero no necesariamente referida a la inversión en construcción, sino al manejo más eficiente del agua (Revollo-Fernández, Rodríguez-Tapia y Morales-Novelo, 2018).

México, de acuerdo al índice de Falkenmark, que mide el nivel mínimo de agua demandada por habitante para satisfacer una buena calidad de vida en una zona, registra un valor de 3 737.77 m³/habitante/año. El índice clasifica el país con disponibilidad alta de agua por habitante y sin enfrentar estrés hídrico (cuarto rango del índice que registra valores mayores a 1 700 m³/hab/año); sin embargo, este dato encubre un problema de distribución desigual en el país y de calidad del recurso (Conagua, 2016). Este problema se presenta principalmente en la complejidad de abastecer el cada vez mayor consumo de agua de los diferentes sectores económicos en algunas cuencas o regiones hidrológico-administrativas (RHA) del país, especialmente aquellas zonas donde la población crece en mayor medida con el paso de los años, pero que al mismo tiempo presentan los mayores aportes al producto interno bruto nacional (PIB). A escala nacional, se evidencia un grado de presión del recurso bajo; no obstante, existen 8 RHA de 13 que presentan una clasificación del grado de presión alto o muy alto y donde se generan las mayores actividades económicas del país (Conagua, 2016). Esta mayor demanda de la población por bienes y servicios se expresa en el aumento de la producción en la industria manufacturera.

En ese sentido, el objetivo de este capítulo es estimar el valor económico del agua para la industria manufacturera en tres subregiones hidrológicas de México con diferentes características económicas, sociales y desigual dotación de recursos hídricos, con la finalidad de generar información para una toma de decisiones más eficiente en el manejo de dicho recurso natural. Este trabajo emplea el concepto de valor del producto marginal del agua o, en otras palabras, el valor económico adicional en la producción de bienes y servicios que obtienen las unidades económicas (UE) (empresas) a consecuencia de emplear un metro cúbico adicional de agua en el proceso productivo.

La estructura del capítulo, incluye ocho apartados. Después de la introducción se presenta la revisión de literatura, seguida por una sección en la que se presenta información sobre las características de las subregiones investigadas, y posteriormente se caracteriza la industria manufacturera en cada subregión. Después se presentan la metodología y los resultados obtenidos. En el séptimo apartado se desarrollan las conclusiones y en el octavo y final, las implicaciones de política pública.

Revisión de literatura

En la teoría económica existen tres principales enfoques para estudiar y calcular el valor en la producción de cualquier bien o servicio, en este caso, el recurso agua (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). Primero, los que calculan la demanda del recurso; segundo, los que analizan los costos de producción; y tercero, los que analizan la producción (Ku y Yoo, 2012). Los métodos de estimación de la demanda consisten en regresiones, donde se estudia la relación de la cantidad consumida como variable dependiente; y como independientes, el precio del agua, la producción, el trabajo y otras variables (Bruneau, Renzetti y Villeneuve, 2010; De-Rooy, 1974; Féres, Reynaud y Thomas, 2012; Hussaina, Thrikawalaa y Barkera, 2002; Malla y Gopalakrishnan, 1999; Oh, 1973; Onjala, 2001; Rees, 1969; Revollo-Fernández *et al.*, 2019; William, 1986).

El segundo enfoque, a través de la estructura de costos, relaciona los costos de producción como variable dependiente y los precios de otros factores productivos como el agua y la producción (Féres y Reynaud, 2003; Grebenstein y Field, 1979; Revollo-Fernández *et al.*, 2018; Reynaud, 2003). El tercer enfoque emplea una función de producción, la cual analiza como variable dependiente el valor de la producción; y como independiente, el valor o las cantidades de los distintos factores productivos (Ku y Yoo, 2012; Wang y Lall, 2002). Los dos primeros enfoques son los más utilizados; sin embargo, éstos requieren el establecimiento de un mercado de agua, lo cual se traduce en fijar una estructura tarifaria adecuada (De Gispert, 2004; Revollo-Fernández *et al.*, 2019).

No obstante, precios medios se usan como *proxys* de los precios marginales (De Gispert, 2004). Esto se traduce en un sesgo deliberado según Dupont y Renzetti (2001), pues en competencia perfecta las firmas alcanzan su óptimo en los precios marginales (Beattie, Taylor y Watts, 2009). Por otro lado, el mercado del agua a la que se enfrentan las industrias manufactureras depende de la fuente de origen del recurso (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). Así, por ejemplo, cuando ésta es por autoabastecimiento se tiene poco o ningún costo externo (Renzetti y Dupont, 2003) y, al contrario, cuando ésta es suministrada desde un organismo operador, las empresas se enfrentan a una estructura de precios en bloques, por lo general crecientes (Revollo-Fernández *et al.*, 2018). Ahora bien, si una simplificación del mercado no es posible, es decir, que no se pueden utilizar precios medios y se desconoce la estructura tarifaria o se tienen precios constantes, el enfoque de productividad marginal debe ser usado para evaluar el valor marginal del agua industrial (Revollo-Fernández *et al.*, 2019).

Por otro lado, el número de estudios sobre el valor del agua en usos industriales es menor que el de los usos agrícolas o domésticos (ver, para algunas referencias, el tercer y sexto capítulo de este libro) (Revollo-Fernández *et al.*, 2018). Esto se debe

principalmente a que los precios de los insumos, por ejemplo el agua, no son de mercado. Los estudios que utilizan el tercer enfoque, como en el caso de Wang y Lall (2002), calculan el valor del agua de una muestra de aproximadamente 2 000 empresas del sector industrial en China. Estiman un valor marginal desde 0.36 pesos/m³ para el sector de la electricidad, hasta un valor de 207.5 pesos/m³ para equipo de transporte, con un valor igual a 19.8 pesos/m³ para toda la industria.

Por otro lado, Aylward *et al.* (2010), a través de una revisión de estudios realizados en países de Asia y Norte América, donde no se incluye México, estiman que para el sector industrial el valor marginal ronda en un margen de 0.18 pesos/m³ a 124.9 pesos/m³. Todos los valores asociados con el uso industrial en estos estudios se desarrollaron mediante el uso de enfoques de la función de producción, utilizando grandes conjuntos de datos de información sobre el uso del agua y datos financieros de las empresas. Finalmente, Ku y Yoo (2012) consideran el valor marginal del agua para la industria manufacturera en Corea del Sur, estimando un valor para toda la industria igual a 66.7 pesos/m³. Tiene el menor valor el sector de instrumentos de precisión y el mayor el sector de equipo de transporte, 25.2 pesos/m³ y 797.3 pesos/m³, respectivamente.

Tres subregiones de estudio

Para fines de preservación y de administración de las aguas a escala nacional, a partir de 1997, México se ha dividido en 13 RHA. Estas RHA están formadas por agrupaciones de cuencas y subcuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). Así mismo, estas RHA presentan límites que respetan los municipios para facilitar la integración de la información socioeconómica (Revollo-Fernández *et al.*, 2018).

Esta investigación se refiere a tres subregiones hidrológicas (SRH) ubicadas en el norte, en el centro y en el sur de México, seleccionadas con el objetivo de captar la diversidad que registran los recursos hídricos del país y que han sido detalladas en el primer capítulo de este libro. Al norte, se ubica la Subregión Hidrológica 24F Río San Juan (SRH-RSJ); al centro, la Subregión Hidrológica 26D Valle de México (SRH-VM); y al sur, la Subregión Hidrológica 30D Bajo Grijalva (SRH-BG). Las tres subregiones concentran una cuarta parte de la población del país y 40 por ciento del valor del producto generado, lo que indica su importancia estratégica en la actividad económica de México. Además, ya que estas subregiones sólo abarcan 5 por ciento del territorio del país, permiten identificar que el proceso económico de México es muy concentrado regionalmente, al mismo tiempo que registra una gran diversidad en la generación de recursos hídricos renovables.

La subregión del centro del país, SRH-VM, registra el mayor estrés hídrico en la escala nacional, con una disponibilidad natural media per cápita de 89.83 m³/hab

(índice de Falkenmark) y un grado de presión de 140 por ciento, lo que la califica en estrés hídrico extremo, sólo comparable con la de los países del oriente medio, como Kuwait y Emiratos Árabes Unidos (grado de presión de 2 075 % y 1 867 %, respectivamente). La SRH-RSJ, que se ubica al norte del país, de igual forma registra un índice de Falkenmark que la califica en estrés alto, aunque menor que el del centro del país. La SRH-BG, ubicada al sur del país, registra un alto índice de Falkenmark que indica su gran disponibilidad de recursos hídricos, que incluso es bastante mayor que la del país, que es de 3 737.7 m³. La importancia de las subregiones seleccionadas es que son representativas de lo que ocurre en el país desde el punto de vista de la diversidad en los recursos hídricos y de la actividad económica y demográfica.

Sector manufacturero en las tres subregiones hidrológicas

La industria manufacturera es importante en el desarrollo de un país. Más de una quinta parte (22 %) de la producción en México la produce este sector (ver cuadro 1), participación que se ha ido incrementado con el tiempo y que es sinónimo de desarrollo. El rasgo del país se refleja, aunque con menor incidencia, en las tres subregiones de estudio, ya que su producción manufacturera conjunta explica sólo 16 por ciento de la producción total nacional, participación que encubre situaciones muy diferenciadas en las tres subregiones. La subregión SRH-RSJ, que se ubica en el norte, registra un perfil de alta producción manufacturera (29 %), ya que una tercera parte de su producción total es de este tipo. Le sigue la subregión del centro SRH-VM, que explica 11 por ciento de su producción manufacturera y que se ha ido reduciendo con el tiempo. Y con una muy pobre producción manufacturera (5 %), se ubica la SRH-BG.

Cuadro 1. Producción de la industria manufacturera por subregión, 2013

<i>Cuenca</i>	<i>Producción manufactura (millones de pesos)</i>	<i>Valor bruto de la producción en México (millones de pesos)</i>	<i>Porcentaje respecto a la producción total manufacturera nacional</i>
SRH-VM	762 514	6 791 776	11
SRH-RSJ	934 018	3 219 984	29
SRH-BG	54 409	1 065 566	5
Subtotal	1 750 942	11 077 326	16
México	6 132 220	27 642 648	22

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos (Inegi, 2014).

La producción manufacturera de las tres subregiones en el total de la producción del mismo tipo en el país es de un tercio (28.5 %), lo que muestra su gran importancia en el país. El empleo manufacturero se comporta en función de la producción. En las tres subregiones el empleo conjunto es de 13.9 por ciento (ver cuadro 2), sólo dos puntos menos que su correspondiente valor en la producción manufacturera. Destaca que en las tres subregiones la participación del empleo manufacturero se ubica arriba de la participación promedio en el empleo del país (12 %), lo cual muestra su importancia en estas regiones. Sin embargo, se registran situaciones muy diferenciadas entre las tres subregiones. La SRH-RSJ, que se ubica en el norte, registra un empleo manufacturero que es una tercera parte (31.3 %) del total, le sigue la del centro SRH-VM que tiene 9.6 por ciento, y con una presencia muy baja en el número de trabajadores, la SRH-BG explica 7.9 por ciento del empleo total.

Cuadro 2. Empleo de la industria manufacturera por subregión, 2013

<i>Cuenca</i>	<i>Cantidad de trabajadores de la industria manufacturera</i>	<i>Cantidad de trabajadores totales</i>	<i>Porcentaje respecto al empleo total nacional</i>
SRH-VM	735 804	7 664 712	9.6
SRH-RSJ	611 940	1 955 700	31.3
SRH-BG	19 907	253 226	7.9
Total de las tres subregiones	1 367 651	9 873 638	13.9
México	5 073 432	43 152 716	12

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos (Inegi, 2014).

En términos del número de establecimientos, las tres subregiones concentran casi una quinta parte (18.98 %) del total ubicado en el país (ver cuadro 3): se registra una gran concentración en la SRH-VM (14.39 %), seguida muy de lejos por la SRH-RSJ (3.67 %), y con una presencia muy baja en el número de establecimientos, la SRH-BG, que tiene 0.09 por ciento del empleo nacional total.

Cuadro 3. Unidades económicas de la industria manufacturera por cuenca, 2013

<i>Cuenca</i>	<i>Cantidad de unidades económicas</i>	<i>Porcentaje respecto al número total de establecimientos en el país</i>
SRH-VM	70 444	14.39
SRH-RSJ	17 983	3.67
SRH-BG	4 501	0.09
Total de las tres subregiones	92 928	18.98
México	489 530	100

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos (Inegi, 2014).

Agua e industria manufacturera en las tres subregiones

Como ya se señaló, la industria manufacturera es importante en el desarrollo de un país. Su presencia es sinónimo de desarrollo. Sin embargo, no se puede dejar de evaluar la presión que su crecimiento causa sobre los recursos naturales, en particular sobre los hídricos. Las cinco industrias intensivas en el uso del agua que se asientan indistintamente en las subregiones del norte, centro y sur son las señaladas en el cuadro 4. Las industrias alimentarias, de bebidas y tabaco son las más intensivas y se asientan donde se ubica la demanda de sus productos, mostrando que buscan abastecer en forma importante los mercados regionales. Las industrias de papel, de plástico, de hule y química, aunque con menor intensidad en el uso del agua que las previas, se asientan en todo el país.

Cuadro 4. Sectores con alta intensidad en el uso de agua por subregión hidrológica, 2013

<i>Subsector</i>	<i>Participación en el uso del agua por industria en el total del sector manufacturero respectivo</i>		
	<i>SRH-VM (porcentaje)</i>	<i>SRH-RSJ (porcentaje)</i>	<i>SRH-BG (porcentaje)</i>
Alimentario	18.9	8.18	13.65
Bebidas y tabaco	20.9	9.91	9.62
Papel	5.8	4.01	0.005
Química*	17.1	13.01	0
Plástico y hule	9.4	4.98	8.65

*El Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) (Inegi, 2018) incluye en la industria química los productos derivados del petróleo y el gas, pero no la producción de dichos combustibles. La industria del petróleo y gas está clasificada dentro del grupo de la minería.

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos y del SCIAN (Inegi, 2014, 2018).

Es importante indicar que en el caso de México, y en especial del sector manufacturero, son pocas las unidades económicas que recirculan o reciclan el agua de su proceso productivo. Sin embargo, es primordial considerar las externalidades negativas que produce la industria –entendidas como los daños que originan sus descargas de aguas residuales sobre terceros sin compensación alguna– como una variable importante en el momento de tomar decisiones sobre el uso y manejo del recurso agua en el proceso industrial. Esta falla de mercado, externalidad negativa, sumada a que se desarrolla en un mercado imperfecto, favorece por lo general a la industria en desmedro de la sociedad.

Agua y sector manufacturero en la Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM)

Las 70 444 unidades económicas (UE) manufactureras en la SRH-VM se concentran en las áreas urbanas del Estado de México (34 901 UE), Ciudad de México (31 413 UE), Hidalgo (3 622 UE) y Tlaxcala (508 UE). El valor de la producción del sector manufacturero representa 35 por ciento del producto de toda la subregión, lo cual genera ocupación para 735 804 personas. Esto resulta clave para el bienestar de la población de la misma región. El volumen anual de agua que consume el sector manufacturero asciende 127 hm³ de agua de primer uso, en su mayoría obtenida de acuíferos por medio de pozos localizados en la misma cuenca (85 %) y el resto, del suministro público urbano (15 %) (Conagua, 2014).

En el cuadro 5 se describe para cada subregión la participación de las industrias ubicadas en la misma, la participación en el agua consumida por el sector, así como su participación en la producción manufacturera anual. Esos datos reflejan el grado de intensidad de cada industria en el uso de los recursos hídricos y su importancia en la actividad económica (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). Las industrias que ejercen mayor intensidad en el uso de los recursos hídricos en la SRH-VM son seis: 1) alimentaria; 2) de bebidas y tabaco; 3) química; 4) de papel; 5) de plástico y hule; y 6) de equipo de transporte. Estas industrias se engloban bajo el nombre de industrias de alta intensidad, ya que juntas consumen tres cuartas partes de toda el agua utilizada anualmente por el sector manufacturero y participan en 70 por ciento del valor de la producción. Entre las industrias de este grupo, destacan principalmente las industrias de alimentos y bebidas y tabaco, pues ambas participan con 40 por ciento de uso del agua y con 31 por ciento del valor total de la producción.

Por el otro lado, las 14 restantes industrias que se ubican en la subregión no presionan importantemente los recursos hídricos, o lo hacen en mucho menor valor que las del grupo de alta intensidad. En conjunto demandan 24.9 por ciento de toda el agua consumida anualmente por el sector manufacturero y generan un tercio del valor de la producción de dicho sector.

Cuadro 5. Participación de la industria manufacturera en los recursos hídricos en la Subregión Hidrológica Valle de México

<i>Subsector</i>	<i>Participación en el uso del agua (porcentaje)</i>	<i>Participación en el valor de la producción (porcentaje)</i>
Alimentaria	18.9	23
Bebidas y tabaco	20.9	8
Química*	17.1	20.7
Papel	5.8	4.9

(continúa)

(continuación)

<i>Subsector</i>	<i>Participación en el uso del agua (porcentaje)</i>	<i>Participación en el valor de la producción (porcentaje)</i>
Plástico y hule	9.4	6.6
Equipo de transporte	3	8
Alta intensidad	75.1	71
Insumos textiles	2.6	1.5
Productos textiles	0.2	0.4
Prendas de vestir	1.3	4.4
Cuero y piel	0.1	0.3
Madera	0.1	0.2
Impresión	2.3	3
Minerales no metálicos	2.4	2.6
Metálicas básicas	3.6	2.7
Productos metálicos	4	4.6
Maquinaria y equipo	0.5	1.8
Equipo de computación	1.9	0.2
Aparatos eléctricos	2.8	2.6
Muebles	1.5	1.9
Otras industrias	1.5	2.7
Intensidad normal	24.9	29
Sector	100	100

*El SCIAN (Inegi, 2018) incluye en la industria química los productos derivados del petróleo y el gas, pero no la producción de dichos combustibles. La industria del petróleo y gas está clasificada dentro del grupo de la minería.

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos y del SCIAN (Inegi, 2014, 2018).

Agua y sector manufacturero en la subregión hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

El sector manufacturero en la SHR-RSJ alcanza un número de 17 983 UE que representan 3.7 por ciento a escala nacional del sector manufacturero, y genera 17.1 por ciento del valor del producto de dicho sector en el país (Revollo-Fernández *et al.*, 2018). Así mismo, utiliza aproximadamente 700 000 trabajadores, que representan casi 25.1 por ciento de la población ocupada del sector industrial en dicha subregión y 13.6 por ciento de la ocupación (Revollo-Fernández *et al.*, 2018) nacional del sector industrial. Por lo tanto, se identifica la gran productividad de la zona respecto a lo nacional. El volumen de agua anual que consume dicho sector asciende a 99 hm³ de agua, la mayoría extraída de pozos localizados en la misma cuenca (56 %) y, en segundo lugar, de fuentes superficiales (44 %) (Revollo-Fernández *et al.*, 2018).

En el cuadro 6 se describe para cada una de las industrias presentes en la subregión, la participación en el agua consumida por el sector, así como su participación en la producción anual, información que evidencia el uso (intensidad) de cada industria. Las industrias que ejercen una alta intensidad sobre el recurso agua en la SRH-RSJ son ocho: 1) aparatos eléctricos; 2) productos metálicos; 3) equipo de computación; 4) química; 5) transporte; 6) plástico y hule; 7) alimentación; y 8) bebidas y tabaco. Estas industrias se engloban bajo el nombre de industrias de alta intensidad, ya que conjuntamente reportan un poco más de tres cuartas partes del agua consumida al año por el sector manufacturero y aproximadamente tres cuartas partes del valor de la producción (Revollo-Fernández *et al.*, 2018). Entre las industrias de alta intensidad, llaman la atención principalmente las industrias de aparatos eléctricos y productos metálicos, pues conjuntamente participan con 33 por ciento del consumo del agua. Por otro lado, se ubica la industria de bebidas y tabaco, con un uso de 4.7 por ciento del total del recurso hídrico de la industria manufacturera.

Cuadro 6. Participación de la industria manufacturera en el uso de recursos hídricos en la Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

<i>Subsector</i>	<i>Participación en el uso del agua (porcentaje)</i>	<i>Participación en el valor de la producción (porcentaje)</i>
Aparatos eléctricos	20.83	7.95
Productos metálicos	12.76	8.13
Equipo de computación	11.63	1.68
Química*	10.62	8.4
Equipo de transporte	10.04	30.05
Plástico y hule	7.03	5.32
Alimentaria	5.75	7.9
Bebidas y tabaco	4.7	4.62
Alta intensidad	83.36	74.05
Minerales no metálicos	4.17	3.68
Papel	2.19	2.74
Metálicas básicas	2.8	11.94
Maquinaria y equipo	2.55	5.45
Otras industrias	2.06	0.6
Muebles	1.82	0.63
Impresión	0.57	0.36
Prendas de vestir	0.32	0.25
Madera	0.09	0.19

(*continúa*)

(continuación)

<i>Subsector</i>	<i>Participación en el uso del agua (porcentaje)</i>	<i>Participación en el valor de la producción (porcentaje)</i>
Productos textiles	0.04	0.06
Insumos textiles	0.02	0.03
Cuero y piel	0.01	0.02
Intensidad normal	16.6	26
Sector	100	100

*El SCIAN (Inegi, 2018) incluye en la industria química los productos derivados del petróleo y el gas, pero no la producción de dichos combustibles. La industria del petróleo y gas está clasificada dentro del grupo de la minería.

Fuente: Elaboración propia con base en Revollo-Fernández *et al.* (2019) y del SCIAN (Inegi, 2018).

Agua y sector manufacturero en la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)

El sector manufacturero en la SRH-BG

El sector manufacturero en la SRH-BG abarca 4 501 UE concentradas en las áreas urbanas del estado de Tabasco (3 161 UE) y Chiapas (1 340 UE). El valor de la producción del sector manufacturero asciende a 9 190 millones de pesos de dólares en 2013 y representa 24 por ciento del producto de toda la cuenca, y genera ocupación para 25 000 personas. El volumen de agua anual consumida por toda la industria manufacturera es de 29 hm³ de agua.

En el cuadro 7 se describen para cada una de las industrias que se ubican en la subregión, su participación en el agua consumida por el sector, así como su participación en la producción anual, información que evidencia el grado de intensidad sobre los recursos hídricos y su dinamismo en la actividad económica. Las industrias que ejercen una mayor intensidad sobre los recursos hídricos en la SRH-BG son dos: 1) química y 2) alimentos. Estas dos industrias explican casi 75 por ciento en la participación en el uso del agua y 85 por ciento en el valor total de la producción manufacturera.

Cuadro 7. Participación de la industria manufacturera en los recursos hídricos en la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva

<i>Subsector</i>	<i>Participación en el uso del agua (porcentaje)</i>	<i>Participación en el valor de la producción (porcentaje)</i>
Químico*	60.8	70.9
Alimentario	13.6	14.6

(continúa)

(continuación)

<i>Subsector</i>	<i>Participación en el uso del agua (porcentaje)</i>	<i>Participación en el valor de la producción (porcentaje)</i>
Alta intensidad	74.4	85.5
Bebidas y tabaco	9.6	6.4
Plástico y hule	8.6	3.08
Productos metálicos	1.6	2.16
Minerales no metálicos	1.6	1.22
Impresión	1.5	1.27
Muebles	1.15	0.09
Madera	1.11	0.04
Prendas de vestir	0.12	0.05
Otras industrias	0.07	0.06
Productos textiles	0.06	0.04
Cuero y piel	0.04	0.01
Maquinaria y equipo	0.03	0.04
Equipo de transporte	0.01	0.01
Papel	0.01	0.01
Intensidad normal	25.6	14.5
Sector	100	100

*El SCIAN (Inegi,2018) incluye en la industria química los productos derivados del petróleo y el gas, pero no la producción de dichos combustibles. La industria del petróleo y gas está clasificada dentro del grupo de la minería.

Fuente: elaboración propia con datos de los Censos Económicos y del SCIAN (Inegi, 2014, 2018).

Metodología

Modelo

La metodología para calcular el valor económico del agua se basa en la especificación de una función de producción. La función de producción Cobb-Douglas (CD) es por lo general la más empleada en el análisis de los mercados de factores y de producción de bienes y servicios (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). Sin embargo, presenta restricciones que son desarrolladas y estudiadas con el paso del tiempo debido principalmente al supuesto de aditividad y homogeneidad (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). En ese sentido, Christensen, Jorgenson y Lau (1973) propusieron la función *trans-log* (TL) para superar estas restricciones. Específicamente, se logra

una gama más amplia de sustitución de transformación, que aquellos restringidos por la elasticidad constante de la sustitución, como es el caso de la función CD (Wang y Lall, 2002). Como indican Baumann, Boland y Hanemann (1997), la función CD considera que todos los insumos sean sustitutos, restringiendo el grado de sustitución al ser un valor constante, situación contraria a lo que sucede con una función de producción TL. En ese sentido, este capítulo considera la función de producción TL como la más adecuada para emplear.

Modelo función trans-log (TL)

La función de producción, donde se emplea el recurso agua como un insumo, puede ser representada como: $Q = f(K, W, M, L)$, donde Q es la producción del bien o servicio considerado, K es el capital utilizado, W es el recurso hídrico consumido, M es el resto de insumos intermedios en el proceso productivo y L es el trabajo empleado. Por lo tanto, la función de producción puede representarse como:

$$\ln Q = \ln A + \alpha_1 \ln L + \alpha_2 \ln W + \alpha_3 \ln M + \alpha_4 \ln K + \alpha_5 \ln L \ln W + \alpha_6 \ln L \ln M + \alpha_7 \ln L \ln K + \alpha_8 \ln W \ln M + \alpha_9 \ln W \ln K + \alpha_{10} \ln M \ln K + \alpha_{11} (\ln L)^2 + \alpha_{12} (\ln W)^2 + \alpha_{13} (\ln M)^2 + \alpha_{14} (\ln K)^2 + e \quad (1)$$

Donde la elasticidad del producto en relación con el insumo agua (ϵ_{TL-W}) se calcula como:

$$\epsilon_{TL-W} = (\partial Q / Q) / (\partial W / W) = \alpha_2 + \alpha_5 \ln L + \alpha_8 \ln M + \alpha_9 \ln K + 2 \alpha_{12} \ln W \quad (2)$$

Y el valor marginal del agua (ϵ_{TL-W}) como:

$$\epsilon_{TL-W} = (\partial Q / W) = \epsilon_{TL-W} * (Q / W) = (\alpha_2 + \alpha_5 \ln L + \alpha_8 \ln M + \alpha_9 \ln K + 2 \alpha_{12} \ln W) * (Q / W) \quad (3)$$

Fuente de los datos y clasificación de los sectores

Los datos empleados para los cálculos se consiguieron del Censo Económico Industrial 2014 generado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2014) a través del Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC). Dicho censo se aplica a las UE que se dedican a realizar actividades industriales a escala nacional y de las cuales se obtiene información, como los sueldos, el volumen, el valor de la producción, así como del capital, entre otras cosas.

La información se trabajó para las UE del sector manufacturero con códigos 31, 32 y 33 del SCIAN (ver el cuadro 11 del anexo) que se ubican en los municipios de

la SRH-RSJ (Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila), de la SRH-VM (Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México y Tlaxcala) y de la SRH-BG (Tabasco y Chiapas). Las UE de cada municipio se englobaron por subsectores y se obtuvieron aproximadamente 1 010 observaciones por variable en el año 2013 para la SHR-RSJ 1 025 observaciones para la SRH-VM y 309 para la SRH-BG. La agregación de los datos se realizó debido a que el Inegi, a través de SAIC, no permite usarla a escala de UE, en el entendido de que esa institución debe cumplir con la Ley de Confidencialidad que prevé sea utilizada con fines fiscales o judiciales y que existen algunas industrias con poca información municipal.

Las variables censales anualizadas para estimar las función son: *a*) valor de productos elaborados (Q), que representa el valor monetario de la producción realizada por las UE; *b*) personal ocupado total (L), que representa al personal que labora durante el período de referencia; *c*) materias primas y materiales que se integran a la producción (M), que es el valor monetario a costo de adquisición en el mercado nacional o extranjero de las materias primas empleadas; *d*) el agua consumida en la producción (m^3) (W), que se estimó de la información del gasto monetario en agua reportada en el censo dividiendo sus correspondientes valores entre el precio por metro cúbico de consumo de agua. Esta variable se construye en metros cúbicos para poder realizar una comparación entre subregiones y otros estudios internacionales en la misma medida, y no tiene implicaciones en los resultados; y *e*) acervo total de activos fijos (K), se tomó el valor actualizado de todos aquellos bienes que tienen la capacidad para la generación de bienes y servicios.

La función de producción se estimó a partir de la base de información de las respectivas variables (Q , L , M , W y K) para los diferentes sectores (códigos 31, 32 y 33) a escala municipal.

Resultados

Desde un punto de vista de la significancia estadística del modelo, 80 por ciento de los parámetros obtenidos en la función TL son significativos y a uno por ciento de nivel de significancia. El ajuste estadístico (R^2) es de 91 por ciento, indicando que 91 por ciento del total de la variabilidad en la variable dependiente (valor de los productos elaborados) es explicado por el resto de variables. Así mismo, se observa que el valor de la prueba Fisher ($\text{Prob} > F$) rechaza la hipótesis nula, que explica que todos los coeficientes de manera simultánea son iguales a cero (ver cuadro 9 del anexo).

Los parámetros de la estimación de las funciones de producción para la industria manufacturera de cada una de las tres subregiones hidrológicas reportan resultados interesantes (ver cuadro 8). Por ejemplo, el valor de la elasticidad entre la producción y el agua en la SH-VM (ϵ_{CD-W}) es de 0.058, e indica que un cambio porcentual de diez por ciento en el uso del agua incrementa en medio punto porcen-

tual la producción manufacturera. Esto es, la elasticidad mide la sensibilidad del producto industrial respecto al uso del agua y en este sentido es un indicador del grado en el consumo del agua de la industria.

El sector manufacturero de las tres cuencas registra distintas sensibilidades respecto al uso del agua (medida por la elasticidad, ϵ_{CD-W}). La SRH-VM es la más sensible (0.058), en segundo lugar la SRH-RSJ (0.046) y con una baja sensibilidad se ubica la SRH-BG (0.033). Los datos muestran que la SRH-VM es 1.75 veces más intensiva que la SRH-BG, y 1.25 veces más intensiva que la SRH-RSJ, comportamiento que se relaciona en forma inversa al estrés hídrico de las cuencas mencionadas (ver el cuadro 8). El consumo del recurso hídrico en la industria aumenta el valor a los productos manufacturados (como cualquier insumo de la producción). La cuantificación se mide en el concepto de valor marginal del agua (ρ_{CD-W}) que define el valor monetario que cada metro cúbico de agua adiciona al producto manufacturero final (también se puede interpretar como el valor que dicho metro cúbico de agua adquiere en el uso industrial).

Cuadro 8. Elasticidad entre el producto (ϵ_{TL-W}) y el valor marginal del producto (ρ_{TL-W}) respecto al uso de agua en el sector manufacturero para las tres subregiones hidrológicas

Subregión	Unidades económicas	Función trans-log		Variables			
		ϵ_{TL-W}	ρ_{TL-W} (MEX.)	Costo del metro cúbico de agua* (pesos)	Valor marginal/costo (porcentaje)	Índice de estrés hídrico	Agua usada ($hm^3/año$)
SRH-VM	70 444	0.058	347.3	19.8	17.5	1.397	127
SRH-RSJ	1 983	0.046	247.1	19.8	12.5	0.771	99
SRH-BG	4 501	0.033	88.2	1.9	46.4	0.017	29

*El costo de un metro cúbico de agua para la industria de manufactura de cada subregión es una ponderación del agua subterránea y superficial (Inegi, 2018).

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos y del scian (Inegi, 2014, 2018).

Los resultados del valor marginal del agua (ρ_{CD-W}) se presentan en el mismo cuadro 8 y se observa que la subregión SRH-VM de mayor estrés hídrico adiciona más valor a los productos manufacturados. El valor marginal del agua es de 347.3 pesos por metro cúbico en la SRH-VM; la SRH-RSJ registra un valor marginal del agua de 247.1 pesos; mientras que para el caso de la SRH-BG el valor marginal es de 88.2 pesos por metro cúbico. Esto muestra que el agua se valora cuatro veces más en la SRH-VM que en la SRH-BG (3.93) y 1.4 veces más que en la SHR-SRJ. Es interesante

evidenciar que, si bien la SRH-VM presenta el mayor valor marginal del agua, también presenta el mayor valor en el índice relativo de estrés hídrico y es la zona donde se demanda la mayor cantidad de agua (127 hm³/año), situación contraria a lo que sucede en la SRH-BG. Las estimaciones evidencian que en la medida en que la subregión enfrenta mayor estrés hídrico (escasez), el agua adiciona más valor a los productos manufacturados. Este resultado es muy importante para el diseño de políticas públicas. Resulta interesante contrastar el valor marginal del agua de uso industrial respecto a su costo por metro cúbico en cada subregión hidrológica (ver columna 5 del cuadro 8), y se confirma la capacidad de la industria en cada subregión para valorar el recurso. Las subregiones con alto estrés hídrico ganan 12 (SRH-RSJ) y 17 veces el costo del agua (SRH-VM), lo que es indicador de su demanda y su importante capacidad para enfrentar tarifas más elevadas en contraste con otros usos del agua. El caso de la SRH-BG es interesante, ya que refleja una altísima capacidad de valorar el agua en esta industria (46 veces su costo), explicada sin embargo, por un costo del recurso 10 veces más bajo que en las otras regiones, más que por su capacidad de generar valor agregado (o productividad de la industria), lo que sugiere su elevado potencial para asentar industrias intensivas en el uso del agua en esta región.

Valor del agua por subsector en la SRH-VM

Los resultados globales encubren comportamientos diversos entre las industrias que conforman el sector manufacturero por subregión. El cuadro 10 del anexo presenta los resultados del modelo TL de los diferentes subsectores de cada subregión hidrológica.

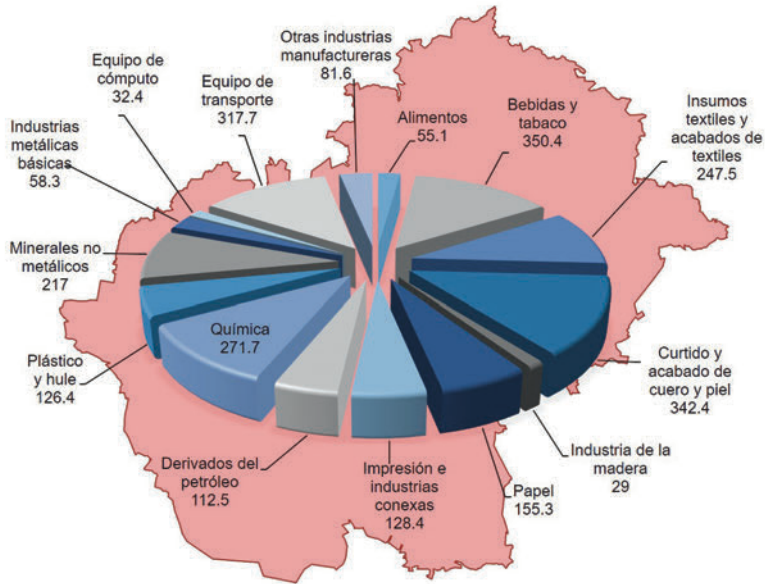
El caso de la SRH-VM, cuya elasticidad promedio del producto respecto al consumo de agua es de 0.058, presenta un rango de industrias que registran elasticidades que van desde 0.003 en la industria de la madera, hasta un valor igual a 0.21 en la industria de productos químicos, seguida por la industria de bebidas y tabaco (sector que consume la mayor cantidad de agua). En cuanto al valor marginal del agua, la capacidad diferenciada y decreciente de las industrias se describe en la figura 1, que indica que la industria de bebidas y tabaco registra el mayor valor marginal del agua, de 350.4 pesos por metro cúbico, transitando en diversas industrias hasta llegar a la industria de la madera, que registra el menor valor, 29 pesos por cada metro cúbico (la media es de 347.3 pesos).

Para la SHR-RSJ, cuya elasticidad media es de 0.046, la industria química igual presenta la mayor elasticidad (0.10); en cambio, la industria de alimentos presenta una menor elasticidad (0.02). Respecto al valor marginal del agua, la capacidad diferenciada y decreciente de las industrias se describe en la figura 2, que indica que la industria de equipo de transporte registra el mayor valor marginal del agua (292.5 pesos por metro cúbico), transitando en diversas industrias hasta llegar a la

de equipo de computación, comunicación y medios (16.5 pesos por metro cúbico). El valor marginal promedio del agua es de 247.1 pesos.

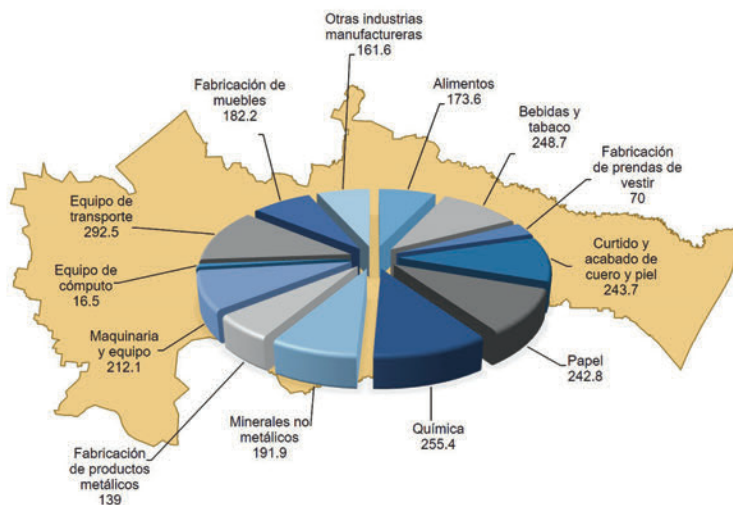
Finalmente, para el caso de la SRH-BG, la elasticidad media entre producto y agua es de 0.33 y el valor marginal medio es de 88 pesos por metro cúbico. Respecto al valor marginal del agua, la capacidad diferenciada y decreciente de las industrias se describe en la figura 3, que indica que otras industrias manufactureras presentan el mayor valor marginal del agua (110.5 pesos por metro cúbico) –por política de confidencialidad no se pudo detallar este subsector–, transitando en diversas industrias hasta llegar a la industria de alimentos (7.2 pesos por metro cúbico).

Figura 1. Valor marginal del agua por industria en la SRH-VM



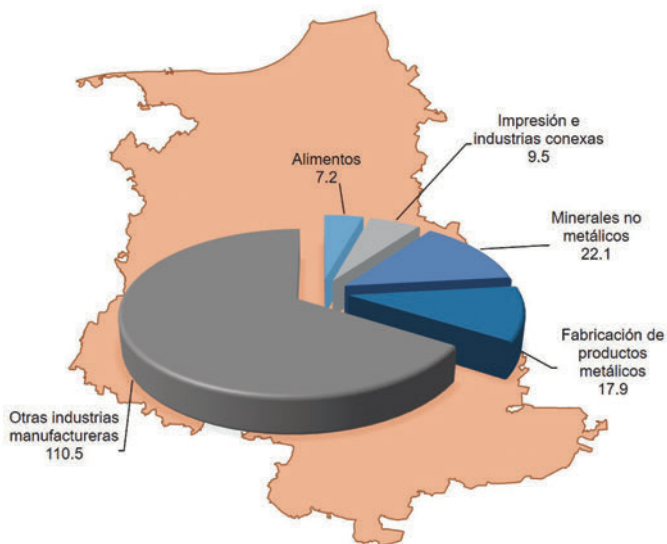
Fuente: Elaboración propia con base en datos del Inegi (2014).

Figura 2. Valor marginal del agua por industria en la SRH-RSJ



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Inegi (2014).

Figura 3. Valor marginal del agua por industria en la SRH-BG



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Inegi (2014).

Conclusiones

A pesar de la importancia del consumo industrial del recurso hídrico y de los aspectos que lo distinguen de otros usos, el rol del agua en la industria permanece poco analizado (Revollo-Fernández *et al.*, 2019). Esto se presenta en mayor medida en los países en vías de desarrollo (Renzetti, 2002). Para el caso de las tres subregiones hidrológicas –Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva–, los resultados confirman que existe alta sensibilidad entre la producción manufacturera y el uso del agua. Dicha relación se expresa en el valor marginal del agua (p_{CD-w}) expresado en valores monetarios de 88.2, 247.1 y 347.3 pesos por cada metro cúbico usado en el proceso de producción para las SRH-BG, SRH-RSJ y SRH-VM, respectivamente. Las estimaciones del mismo indicador a escala internacional reportan que oscilan entre 0.18 pesos/m³ y 126.0 pesos/m³ para países de Asia y Norte América (sin tomar en cuenta México), mientras que en el caso chileno se evidencia un valor promedio para la industria manufacturera de 556.2 pesos/m³.

En ese sentido, los valores hallados en esta investigación se ubican en la media del rango a escala internacional. El valor que se estimó para las regiones del país se explica, principalmente, por el bajo costo al que tienen acceso las UE al recurso agua, ya que está por debajo de los precios a los cuales la adquieren las UE en otros países. En México, las UE pagan en promedio 16.5 pesos por metro cúbico (promedio del pago de derechos sobre el agua proveniente de acuíferos que ofrece el Estado y la tarifa de servicio público), mientras que, en promedio, en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE) es de 42 pesos/m³ (Walsh, Cusack, y O’Sullivan, 2016). Es decir, un valor inferior del orden de 60 por ciento, aproximadamente. Otra variable que incide en el valor marginal del agua es la escasez del recurso: a mayor escasez, mayor valor marginal del agua. Es el caso de las subregiones SRH-VM y SRH-RSJ, que presentan el mayor índice relativo de estrés hídrico (139.7 % y 77.1 %, respectivamente) y que enfrentan los mayores valores marginales del agua.

Implicaciones de política pública

La información hallada proporciona aspectos técnicos para evaluar la gestión del agua en industrias manufactureras intensivas en las subregiones hidrológicas que registran escasez extrema, como es la de la SRH-RSJ y la SRH-VM. Las industrias que la investigación identifica como altamente intensivas en el uso del agua –con el parámetro elasticidad de la producción y el recurso hídrico– son las siguientes, señalando la elasticidad en forma respectiva para SRH-RSJ y SRH-VM: industria química (0.10 y 0.21); industria de bebidas y tabaco (0.07 y 0.15); equipo de

transporte (0.08 y 0.04); curtido y acabado de cuero y piel (0.04 y 0.05); industria de papel (0.05 y 0.03); y productos a base de minerales no metálicos (0.03 y 0.03).

Además de ser las industrias manufactureras más intensivas en el uso del agua, obtienen un valor marginal del agua elevado por cada metro cúbico de agua utilizada. Señaladas en pesos para el año 2014, de mayor a menor valor y en forma respectiva para la SRH-RSJ y SRH-VM, las industrias alcanzan los siguientes valores: equipo de transporte (292.5 y 317.70); bebidas y tabaco (248.7 y 350.40), curtido y acabado de cuero y piel (243.7 y 342.40); química (255.4 y 271.70); la industria de papel (242.8 y 155.30); y productos a base de minerales no metálicos (191.9 y 217.00). Los diferentes valores marginales enfrentan un costo marginal constante de 19.01 pesos por metro cúbico de agua utilizada, lo que sugiere las elevadas y extraordinarias ganancias que obtienen con el recurso hídrico y el amplio margen que tienen para una gestión de derechos y tarifas de agua para regular su explotación por el uso industrial. Otro aspecto que se consigue de la información obtenida se refiere a los impactos ambientales de la industria sobre los cuerpos de agua explotados.

Este tipo de análisis y los resultados obtenidos podrían servir para discutir la asignación de los recursos hídricos para usos alternativos dentro de cada cuenca en relación con los usos públicos y urbanos (hogares), agrícolas y servicios, incluyendo las variables sociales y ambientales. De igual forma, este tipo de hallazgos debería concientizar a la sociedad, a las autoridades y principalmente a los usuarios sobre la importancia que tiene el tema de la escasez de este recurso natural y la necesidad que se tiene de él al ser considerado significativo en todos los procesos productivos. En ese sentido, se espera que las estimaciones realizadas sean lo suficientemente útiles para el diseño de futuras políticas tarifarias y de manejo del agua por parte de los gobiernos. Así mismo, urge avanzar en el conocimiento del uso de agua industrial y generar herramientas que logren un manejo racional de ésta para así obtener mejores y mayores beneficios para toda la sociedad.

Es importante considerar que el sector manufacturero –junto a otros sectores industriales– genera contaminación en su proceso productivo, como sucede con las aguas residuales que degradan otras fuentes o cuerpos de agua o que pueden ser insumos para otros sectores, transfiriendo costos a terceros, lo que en economía son las externalidades negativas. A escala nacional, y en las tres áreas de estudios, pocas empresas manufactureras cuentan con proceso de tratamiento de aguas residuales. En tal sentido, además de tener claridad sobre el impacto positivo de un metro cúbico de agua dentro del proceso productivo, es imperativo que en el diseño de la política pública también se consideren las fallas de mercado, como las externalidades negativas, o los mercados imperfectos donde se desarrollan, para lograr un mayor bienestar en la sociedad y no sólo en un pequeño grupo.

Anexos

Cuadro 9. Resultados de la estimación del modelo econométrico

Variable	trans-log (TL)		
	Estimated		Significance
$\ln L$	0.744	0.000	***
$\ln W$	0.258	0.002	***
$\ln M$	1.437	0.000	***
$\ln K$	0.103	0.418	
$\ln L * \ln W$	0.003	0.787	
$\ln L * \ln M$	0.085	0.000	***
$\ln L * \ln K$	0.003	0.866	
$\ln W * \ln M$	0.023	0.001	***
$\ln W * \ln K$	0.002	0.828	
$\ln M * \ln K$	0.012	0.262	
$(\ln L)^2$	0.061	0.001	***
$(\ln W)^2$	0.008	0.023	**
$(\ln M)^2$	0.018	0.000	***
$(\ln K)^2$	0.009	0.100	*
A	0.819	0.362	
N° Obs.		895	
Prob > F		0.000	
R ²		0.92	

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos (Inegi, 2014).

Cuadro 10. Elasticidad (ϵ_w) y valor marginal del producto (ρ_w) respecto al uso de agua en los diferentes subsectores del sector manufacturero para las tres subregiones hidrológicas

SUBSECTOR	SRH-VM			SRH-RSJ			SRH-BG		
	UE	ϵ_{TLW}	ρ_{TLW} (MEX)	UE	ϵ_{TLW}	ρ_{TLW} (MEX)	UE	ϵ_{TLW}	ρ_{TLW} (MEX)
Alimentos	28 527	0.01	55.1	4 691	0.02	173.6	1 422	0.001	7.2
Bebidas y tabaco	5 262	0.15	350.4	288	0.07	248.7	221	NA	NA
Fabricación de insumos textiles y acabados de textiles	228	0.1	247.5	7	NA	NA	3	NA	NA

(continúa)

(continuación)

SUBSECTOR	SRH-VM			SRH-RSJ			SRH-BG		
	UE	εTLW	ρTLW (MEX)	UE	εTLW	ρTLW (MEX)	UE	εTLW	ρTLW (MEX)
Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	851	NA	NA	210	NA	NA	43	NA	NA
Fabricación de prendas de vestir	3 290	NA	NA	671	0.03	70	359	NA	NA
Curtido y acabado de cuero y piel	508	0.05	342.4	41	0.04	243.7	6	NA	NA
Industria de la madera	2 317	0	29	672	NA	NA	239	NA	NA
Papel	605	0.03	155.3	344	0.05	242.8	30	NA	NA
Impresión e industrias conexas	5 598	0.02	128.4	1 414	NA	NA	235	0.002	9.5
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón	13	0.18	112.5	26	NA	NA	3	NA	NA
Química	1 218	0.21	271.7	410	0.1	255.4	22	NA	NA
Industria del plástico y del hule	1 468	0.03	126.4	531	NA	NA	12	NA	NA
Productos a base de minerales no metálicos	1 630	0.03	217	664	0.03	191.9	130	0.01	22.1
Industrias metálicas básicas	176	0.01	58.3	146	NA	NA	-	NA	NA
Fabricación de productos metálicos	10 405	NA	NA	4 706	0.05	139	896	0.02	17.9
Fabricación de maquinaria y equipo	474	NA	NA	330	0.07	212.1	5	NA	NA
Equipo de computación, comunicación y medios	69	0.05	32.4	122	0.05	16.5	—	NA	NA

(continúa)

(continuación)

SUBSECTOR	SRH-VM			SRH-RSJ			SRH-BG		
	UE	ϵTLW	ρTLW (MEX)	UE	ϵTLW	ρTLW (MEX)	UE	ϵTLW	ρTLW (MEX)
Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos	296	NA	NA	182	NA	NA	—	NA	NA
Equipo de transporte	343	0.04	317.7	325	0.08	292.5	4	NA	NA
Fabricación de muebles, colchones y persianas	4 446	NA	NA	1 410	0.03	182.2	450	NA	NA
Otras industrias manufactureras	2 720	0.01	81.6	793	0.07	161.6	421	0.04	110.5

Fuente: Elaboración propia con datos de los Censos Económicos (Inegi, 2014).

Cuadro 11. Clasificación industrial por subsectores de la industria manufacturera de acuerdo con la clasificación industrial de América del Norte (SCIAN)

Subsector	Código	Descripción
Alimentos.	311	UE dedicadas principalmente a la elaboración, conservación y envasado de productos alimentarios.
Bebidas y tabaco.	312	UE dedicadas principalmente a la elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, en beneficio del tabaco. Incluye la purificación de agua donde se llena directamente el garrafón de los clientes.
Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles.	313	UE dedicadas principalmente a la preparación e hilado de fibras textiles naturales; a la fabricación de hilos y telas; y al acabado y recubrimiento de textiles.
Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir.	314	UE dedicadas principalmente a la fabricación de alfombras, tapetes y esteras a partir de hilo comprado; a la confección (corte y cosido) de cortinas, blancos y similares, a partir de tela comprada y de otros productos textiles.
Fabricación de prendas de vestir.	315	UE dedicadas principalmente a la fabricación de prendas de vestir de tejido de punto y a la confección de prendas de vestir y accesorios de vestir.
Curtido y acabado de cuero y piel y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos.	316	UE dedicadas principalmente al curtido y acabado de cuero y piel; a la fabricación de calzado y de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos (como bolsos de mano, maletas y similares); y otros productos de cuero y piel.

(continúa)

(continuación)

<i>Subsector</i>	<i>Código</i>	<i>Descripción</i>
Industria de la madera.	321	UE dedicadas principalmente a la fabricación de diversos productos de madera en aserraderos integrados; al aserrado (corte) de tablas y tablones a partir de la madera en rollo; a la impregnación y tratamiento de maderas.
Industria del papel.	322	UE dedicadas principalmente a la fabricación de pulpa (de madera y de materiales reciclados), papel, cartón y productos de papel y cartón.
Impresión de industrias conexas.	323	UE dedicadas principalmente a la impresión y otros impresos, a la impresión de formas continuas y a realizar actividades para la industria de la impresión (como la encuadernación y la elaboración de placas, clichés, grabados y otros productos similares).
Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón.	324	UE dedicadas principalmente a la refinación de petróleo crudo; a la fabricación de productos de asfalto, aceites y grasas lubricantes y de otros productos derivados del petróleo refinado; y del carbón mineral.
Industria química.	325	UE dedicadas principalmente a la fabricación de productos químicos básicos; de resinas y hules sintéticos; fibras químicas; fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos; productos farmacéuticos; pinturas, recubrimientos y adhesivos; jabones, limpiadores y preparaciones de tocador; tintas para impresión, explosivos y otros productos químicos.
Industria del plástico y del hule.	326	UE dedicadas principalmente a la fabricación de productos de plástico y de hule.
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos.	327	UE dedicadas principalmente a la fabricación de productos a base de arcillas y minerales; refractarios de vidrio; productos de vidrio, de cemento; productos de concreto, de cal, yeso; y de otros productos a base de minerales no metálicos.
Industrias metálicas básicas.	331	UE dedicadas principalmente a la fundición primaria de hierro bruto; a la fabricación de acero y productos de hierro y acero; a la fundición, afinación, refinación y laminación de metales no ferrosos; y al moldeo por fundición de piezas metálicas.

(continúa)

(continuación)

<i>Subsector</i>	<i>Código</i>	<i>Descripción</i>
Fabricación de productos metálicos.	332	UE dedicadas principalmente a la fabricación de productos forjados y troquelados a partir de metal comprado; herramientas de mano metálicas sin motor y utensilios de cocina metálicos; partes y estructuras metálicas; acero para la construcción y productos de herrería; calderas industriales, tanques y envases metálicos; herrajes y cerraduras; alambre, productos de alambre y resortes al maquinado hecho sobre pedido de piezas metálicas nuevas y usadas para maquinaria y equipo en general; a la fabricación de tornillos, tuercas, remaches y similares; al recubrimiento de piezas metálicas y otros terminados metálicos.
Fabricación de maquinaria y equipo.	333	UE dedicadas principalmente a la fabricación de maquinaria y equipo para las actividades agropecuarias; la construcción; la industria extractiva, para las industrias manufactureras, el comercio y los servicios de equipo de aire acondicionado, calefacción y de refrigeración industrial y comercial; de motores de combustión interna; turbinas y transmisiones; de otra maquinaria y equipo para la industria en general.
Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos componentes y accesorios electrónicos.	334	UE dedicadas principalmente a la fabricación de computadoras y equipo periférico, equipo de comunicación, equipo de audio y de video; componentes electrónicos; instrumentos de medición, control y navegación; equipo médico electrónico; a la fabricación y reproducción masiva de medios magnéticos y ópticos.
Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica.	335	UE dedicadas principalmente a la fabricación de accesorios de iluminación; aparatos eléctricos de uso doméstico; equipo de generación; distribución de energía eléctrica; otros equipos y accesorios eléctricos.
Fabricación de equipo de transporte.	336	UE dedicadas principalmente a la fabricación de equipo de transporte (como automóviles, camionetas y camiones); carrocerías y remolques; partes para vehículos automotores; equipo aeroespacial; equipos ferroviarios; embarcaciones y otros equipos de transporte.
Fabricación de muebles, colchoneros y persianas.	337	UE dedicadas principalmente a la fabricación de muebles, colchones, persianas y cortineros. Incluye fabricación de retiradores y pizarrones, de colchones de espuma de uretano y colchones de agua.
Otras industrias.	339	UE dedicadas principalmente a la fabricación de equipo y aparatos no electrónicos para uso médico, dental y para laboratorio; material desechable de uso médico; artículos ópticos de uso oftalmológico y otras manufacturas no clasificadas en otra parte.

Fuente: Elaboración propia con datos del SCIAN (Inegi, 2018).

Referencias

- Aylward, B., Seely, H., Hartwell, R. y Dengel, J. (2010). *The Economic Value of Water for Agricultural, Domestic and Industrial Uses: A Global Compilation of Economic Studies and Market Prices*. Italia: FAO.
- Baumann, D., Boland, J. y Hanemann, W. (1997). *Urban Water Demand Management and Planning*. New York: McGraw-Hill.
- Beattie, B., Taylor, R. y Watts, M. (2009). *The Economics of Production*. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company.
- Bruneau, J., Renzetti, S. y Villeneuve, M. (2010). Manufacturing firms' demand for water recirculation. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 58(4), 515-530.
- Christensen, L., Jorgenson, D. y Lau, L. (1973). Transcendental logarithmic production function frontiers. *The Review of Economics and Statistics*, 1(55), 28-45.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2014). *Estadísticas del agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII*. México: Conagua/Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016). *Estadísticas del agua en México*. México: Autor.
- De Gispert, C. (2004). The economic analysis of industrial water demand: a review. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 22(1), 15-30.
- De-Rooy, J. (1974). Price responsiveness of the industrial demand for water. *Water Resources Research*, 10(3), 403-406.
- Dupont, D. y Renzetti, S. (2001). The role of water in manufacturing. *Environmental and Resource Economics*, 18(4), 411-432.
- Féres, J. y Reynaud, A. (2003). *Industrial water use, cost structure and environmental policy in Brazil*. Recuperado de <http://www2.toulouse.inra.fr/lerna/cahiers2003/0308114.pdf>
- Féres, J., Reynaud, A. y Thomas, A. (2012). Water reuse in Brazilian manufacturing firms. *Applied Economics*, 44(11), 1417-1427.
- Grebenstein, C. y Field, B. (1979). Substituting for water inputs in U. S. manufacturing. *Water Resources Research*, 15(2), 228-232.
- Hussaina, I., Thrikawalaa, S. y Barkera, R. (2002). Economic analysis of residential, commercial, and industrial uses of water in Sri Lanka. *Water International*, 27(2), 183-193.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2014). *Censos Económicos 2014*. Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC). <https://www.inegi.org.mx/app/saic/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). (2018). *Sistema de Clasificación Industrial de América el Norte, México. SCIAN 2018*. Autor. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825099695.pdf

- Ku, S. y Yoo, S. (2012). Economic Value of Water in the Korean Manufacturing Industry. *Water Resource Management*, 26(1), 81-88.
- Malla, P. y Gopalakrishnan, C. (1999). The economics of urban water demand: the case of industrial and commercial water use in Hawaii. *Water Resources Development*, 15(3), 367-374.
- Oh, H. (1973). *Economics of Urban Water Demand: A Case Study of the Honolulu Board of Water Supply* (tesis de doctoral). University of Hawaii in Manoa, Hawái.
- Onjala, J. (2001). *Industrial Water Demand in Kenya: Industry Behaviour when Tariffs are not Binding* (tesis de doctorado). Roskilde University, Dinamarca.
- Rees, J. (1969). *Industrial Demand of Water: A Study of South East England*. Londres: Weidenfeld & Nicolson.
- Renzetti, S. (2002). *The Economics of Industrial Water Use*. Edward Elgar Publishing.
- Renzetti, S. y Dupont, D. (2003). *The value of water in manufacturing*. Inglaterra: Centre for Social Economic Research on the Global Environment.
- Revollo-Fernández, D., Rodríguez-Tapia, L. y Morales-Novelo, J. (2018). Valor económico del agua de la industria manufacturera ubicada en la subregión hidrológica Río San Juan, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 20(10), 218-245.
- Revollo-Fernández, D., Rodríguez-Tapia, L. y Morales-Novelo, J. (2019). Economic value of water in the manufacturing industry located in the Valley of Mexico Basin, Mexico. *Water Resources and Economics*, 20(10), 1-11.
- Reynaud, A. (2003). An econometric estimation of industrial water demand in France. *Environmental and Resource Economics*, 25(2), 213-232.
- Walsh, B., Cusack, O. y O'Sullivan, D. (2016). An industrial water management value system framework development. *Sustainable Production and Consumption*, 5, 82-93.
- Wang, H. y Lall, S. (2002). Valuing water for Chinese industries: a marginal productivity analysis. *Applied Economics*, 34(6), 759-765.
- William, S. (1986). The demand for water by customer class. *Applied Economics*, 18(12), 1275-1289.

USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA DE EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS Y MINERALES EN TRES SUBREGIONES HIDROLÓGICAS DE MÉXICO

Lilia Rodríguez-Tapia / Daniel A. Revollo-Fernández / Jorge A. Morales-Novelo*

Introducción

El sector minero (minería no petrolera y extracción de petróleo y gas) es importante en México (De la Fuente-López, s. f.) debido a la contribución de este sector a la economía del país, en la generación de empleo, las finanzas públicas, así como por la extensión de territorio comprometido en esta actividad (De la Fuente *et al.*, 2017). Si bien la nación tiene el dominio del petróleo y del gas desde 1917, y el Estado los administró exclusivamente a través de Petróleos Mexicanos (Pemex) de 1938 a 2013, a partir de la Reforma Energética del 12 de agosto de 2013, el propio Estado permitió la participación del sector privado por medio de contratos de exploración y extracción. En el caso de la minería no petrolera –como indica De la Fuente *et al.* (2017)–, esta actividad ha sido muy poco regulada y la participación pública ha sido marginal, pues ha sido principalmente explotada por empresas privadas, en mayor proporción extranjeras.

En términos de prioridad, según la Ley Minera, el sector minero no petrolero presenta carácter preferente sobre la agricultura, el turismo, la ganadería, la pesca y otras actividades industriales, e incluso sobre las áreas naturales protegidas. Las únicas actividades que tiene mayor preferencia sobre el uso y el aprovechamiento de tierra es la exploración y extracción de petróleo y gas, y la transmisión y distribución de energía eléctrica (De la Fuente *et al.*, 2017). A escala nacional, hasta el

*Los autores reconocen y agradecen a la Dra. Carolina Massiel Medina Rivas, Cátedra Conacyt adscrita al Departamento de Economía de la UAM-A, la elaboración de las bases georreferenciadas y los mapas, así como sus valiosos comentarios que mejoraron la argumentación de la investigación. También se agradece el eficiente trabajo del Laboratorio de Microdatos del Inegi en el procesamiento especial a partir del Cuestionario para los Organismos que realizan la actividad de Captación, Tratamiento y Suministro de Agua.

año 2016 se tenían registradas aproximadamente 29 000 concesiones mineras no petroleras que abarcaban 26.3 por ciento del territorio (Armendáriz-Villegas, 2016), lo cual representa alrededor de 885 proyectos mineros, en su gran mayoría de empresas canadienses (65.3 %) y el resto estadounidenses y mexicanas (De la Fuente-López, s. f.).

Ligada a las actividades mineras se encuentra la industria minerometalúrgica (IMM), que es la actividad socioeconómica vinculada con la extracción de minerales de los cuales se obtienen beneficios económicos. En este conjunto de actividades, el desarrollo de nueva tecnología ha propiciado la incorporación de nuevos descubrimientos, introduciendo equipos de alta productividad y logrando menores costos. Sin embargo, la extracción y su procesamiento involucran la generación de altas cantidades de desechos que contaminan por lo general el suelo y el agua (Lottermoser, 2010), con efectos nocivos sobre la salud de los ecosistemas (Buscher, Sullivan, Neves, Igoe y Brockington, 2012).

En lo que se refiere a los impactos adversos sobre los recursos hídricos, esto es aún más apremiante dado que es un sector intensivo en el uso del agua (Pacheco-Gutiérrez y Domínguez-de-Bazúa, 2007). Al igual que la agricultura, la extracción, procesamiento y metalurgia de los minerales requiere grandes cantidades de agua. Como indica Moran (2000), los impactos más importantes de la minería, respecto al agua, es el desabasto regional (desección de manantiales y cuerpos de agua) debido a la alta demanda de agua en los procesos, así como la contaminación de recursos hídricos, tanto superficial como de fuentes subterráneas, proveniente de jales, gasolina y diésel, drenajes alcalinos y ácidos, entre otros.

Por sus importantes impactos sobre los recursos hídricos, este capítulo tiene como meta indagar y calcular el uso del agua en la industria de explotación de hidrocarburos y minerales, así como de la metalurgia en tres subregiones hidrológicas con distintas características socioeconómicas y de disponibilidad del recurso: la subregión hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ) en el norte del país, la Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM) en el centro y la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG) en el sur del país. Este trabajo es una primera aproximación al tema, y se espera avanzar a medida que la información disponible se incremente. El trabajo se conforma de cuatro apartados, además de la introducción. El primer apartado, ofrece un panorama general del sector extractivo en México; el segundo apartado, describe la situación de la producción minera en las tres subregiones de estudio y contrasta su situación respecto al total de la industria minera en el país. El tercer apartado, es el más importante del trabajo, porque describe y relaciona la situación de la producción minera y metalúrgica con el agua que se utiliza en cada subregión hidrológica. Y en el último apartado, se presentan las conclusiones del estudio.

El sector extractivo en México

A partir de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio (TLC) con Canadá y Estados Unidos de América en 1994, México adoptó el sistema de clasificación industrial de América del Norte (SCIAN), que establece los criterios para ubicar las unidades económicas dentro de sectores específicos. El SCIAN organiza las unidades económicas en seis niveles de agregación –de mayor a menor–: sector (dos dígitos), subsector (tres dígitos), rama (cuatro dígitos), subrama (cinco dígitos) y clase de actividad económica (seis dígitos).

Siguiendo la clasificación SCIAN, el sector minero se etiqueta con el código 21. Incluye el subsector extracción de petróleo y gas (código 211, minería petrolera en adelante), el subsector minería metálica y no metálica (código 212, minería no petrolera en adelante) y el subsector servicios relacionados con la minería (subsector 213). La minería combina actividades de extracción parecidas a las actividades primarias, con actividades de transformación. En este sentido, se considera una actividad secundaria, ya que, aunque sus insumos provienen de actividades primarias, sus productos se destinan al resto de los sectores.

El sector minero de México es uno de los más importantes desde el punto de vista económico. Por eso en este trabajo se estudian los subsectores clasificados como petrolero (código 211) y minero no petrolero (código 212). A escala mundial, México ocupa el decimosegundo puesto en la producción de petróleo, con una producción aproximada de 2.1 millones de barriles diarios (b/d), que representan 2.7 por ciento de la producción mundial (Secretaría de Economía, 2017). Los cinco mayores productores son Rusia (10.5 millones de b/d), Arabia Saudí (10.4 millones de b/d), Estados Unidos (8.8 millones de b/d), Iraq (4.4 millones de b/d) e Irán (4.1 millones de b/d).

En la producción minera no petrolera, México ocupa el decimotercer puesto a escala mundial, con un valor de la producción para el año 2015 de 17 669 millones de dólares, que corresponde a 1.7 por ciento del valor producido mundial. El primer lugar lo ocupa China, con un valor de 220 656 millones de dólares, que representa 21.7 por ciento. México es el primer productor a nivel mundial de plata con 5 955 toneladas, que representan 26.1 por ciento del total mundial (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Así mismo, México es el segundo en la producción de fluorita (625 toneladas, 11.2 %) y el tercero en bismuto (601 toneladas, 4.6 %), celestita (79 022 toneladas, 23.8 %) y wollastonita (57 451 toneladas, 10.5 %).

A escala nacional, el producto interno bruto (PIB) anual del sector minero asciende a un valor de 980 000 millones de pesos mexicanos en promedio para el período 2010-2016 (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Dicho valor representa aproximadamente 7.5 por ciento del PIB total nacional para el mismo período. La participación del PIB petrolero representa 6.2 por ciento del PIB total nacional,

mientras que el PIB minero no petrolero, sólo 0.9 por ciento. Es importante destacar que la participación tanto del sector minero petrolero como minero no petrolero en el PIB total nacional ha tendido a reducirse con el pasar de los años, pasando de 8.3 por ciento en 2010 a 6.2 por ciento en 2016 (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Aporte a la economía nacional del sector minero de 2010 a 2016

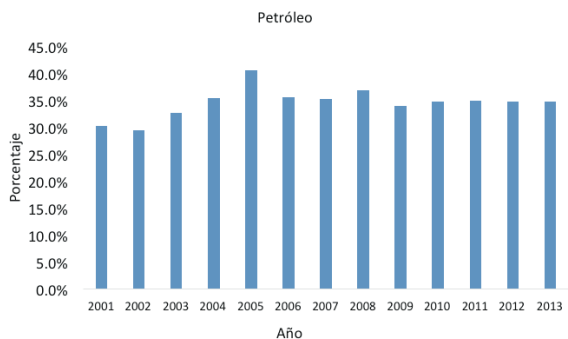
<i>Concepto</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>
PIB total nacional*	12 278	12 774	13 288	13 466	13 769	14 120	14 461
Variación (%)	5.1	4	4	1.3	2.3	2.5	2.3
PIB minero nacional*	1 021	1 017	1 026	1 025	1 009	950	903
Participación (%)	8.3	8	7.7	7.6	7.3	6.7	6.2
PIB minero petróleo nacional*	843	829	824	815	796	750	707
Participación (%)	6.9	6.5	6.2	6.1	5.8	5.3	4.9
PIB minero no petrolero*	104	114	125	132	134	136	136
Participación (%)	0.8	0.9	0.9	1	1	1	0.9

*Millardos de pesos de 2008 (producto interno bruto a precios constantes).

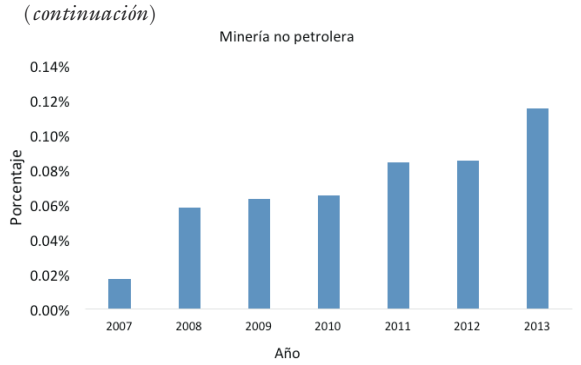
Fuente: Elaboración propia con base en la Secretaría de Economía (2017).

Sin embargo, a pesar de la caída en la participación en el PIB a escala nacional, los ingresos que obtiene el Estado, tanto por el petróleo como por la minería no petrolera, van en aumento o se mantienen. En el caso de los ingresos petroleros, representan aproximadamente 35 por ciento de los ingresos del sector público, mientras que los ingresos de la minería no petrolera representan menos de un punto porcentual (0.11 %) (ver gráfica 1).

Gráfica 1. Participación de los ingresos petroleros por derecho en los ingresos del sector público, 2001-2013



(continúa)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH, 2018).

Para realizar la minería no petrolera en México, los particulares deben tener posesión de derechos o concesiones mineras, mientras que la extracción de petróleo y gas se realiza por medio de Pemex y sus subsidiarios privados, lo que a la fecha ha cambiado con la nueva ley energética, pero ese cambio no se incluye en el trabajo porque no existe información.

Las concesiones mineras no petroleras se ubican en casi todo el país, con un mayor peso en el centro y en el noreste. Dichas concesiones, en 2016, llegan aproximadamente, a 29 000 en todo el país (ver mapa 1).

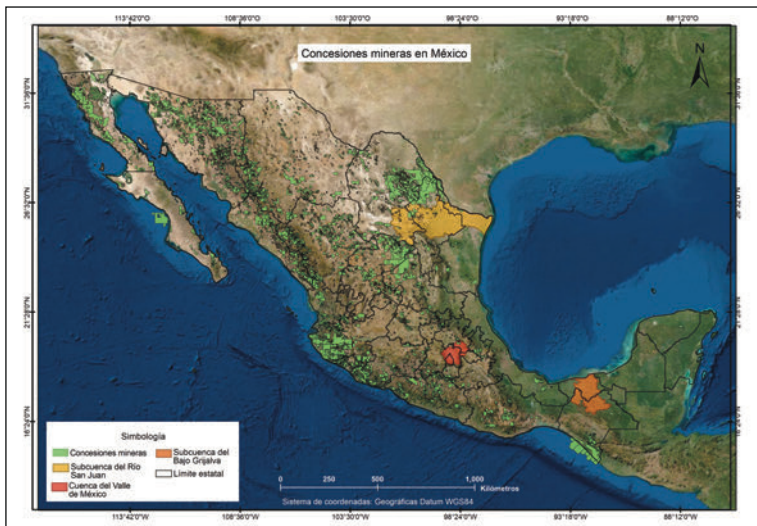
En el caso de la extracción de petróleo y gas, existen pozos repartidos en el país, pero con mayor peso en el norte y en el sureste. Básicamente existen seis zonas de baterías de pozos: pozos Burgos, pozos Tampico-Misantla, pozos Veracruz, pozos cuenca sureste, pozos en aguas profundas y pozos en agua someras (ver mapa 1).

Delimitación de la zona de estudio

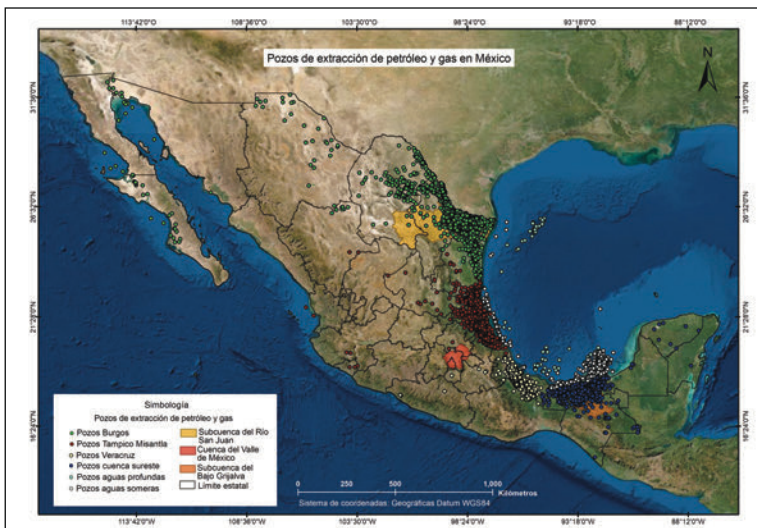
La investigación se refiere a tres subregiones hidrológicas ubicadas en el norte, centro y sur del país, seleccionadas con el objetivo de captar la diversidad que registran los recursos hídricos del país y que se encuentran detalladas en el primer y segundo capítulo de este libro. Al norte se ubica la Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ); al centro la Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM) y al sur la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG). En el mapa 1 se observa que la producción minera se registra en las tres subregiones hidrológicas de estudio; sin embargo, su incidencia en cada una es diferenciada, como se explica en este apartado. La presencia de la minería es importante; pero el uso intensivo de agua que hace esta actividad afecta mucho a los recursos hídricos de cada subregión hidrológica (oferta), como al consumo de otros sectores en la economía (demanda).

Mapa 1. Distribución de las concesiones mineras y pozos de extracción de petróleo y gas en México, 2018

a) Concesiones mineras en México



b) Pozos de extracción de petróleo y gas en México

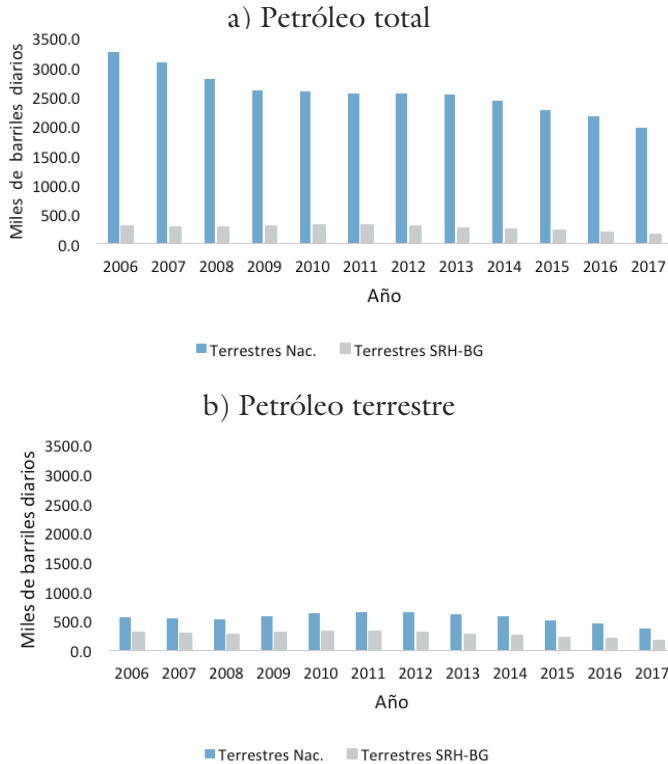


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2018a, 2018b) y del CNIH (2018).

Agua y el sector minero y metalúrgico en las tres subregiones hidrológicas¹

De las tres subregiones hidrológicas de estudio, la SRH-VM, localizada en el centro del país, no registra actividad minera petrolera; en el norte, la SRH-RSJ, sólo presenta actividad de extracción de petróleo y en la SRH-BG, se extraen tanto petróleo como gas. Como se observa en la gráfica 2 (a y c), a escala nacional se extrajeron en promedio 2.5 millones de barriles diarios de petróleo total (terrestre y marino) y 6 300 millones de pies cúbicos diarios de gas natural entre 2006 y 2017. En ambos casos, en ese lapso, se evidencia una tendencia a la reducción de extracción, más marcada en el petróleo.

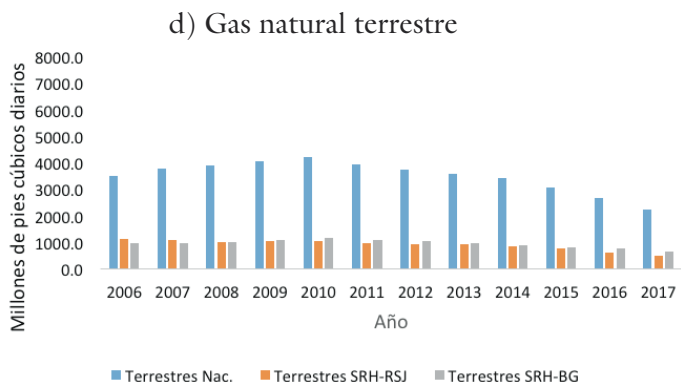
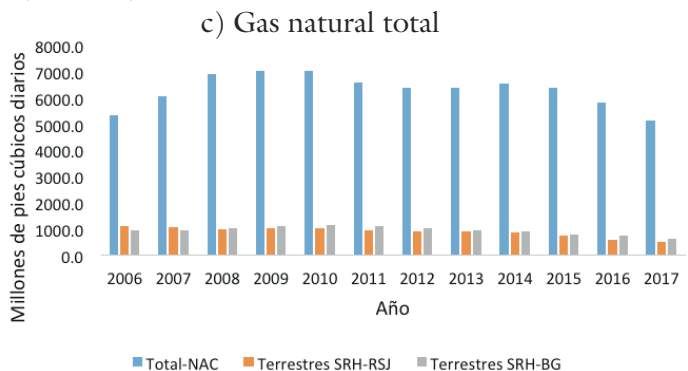
Gráfica 2. Producción de barriles diarios de petróleo y pies cúbicos diarios de gas natural, 2006-2017



(continúa)

¹ La información estadística sobre la producción de barriles diarios de petróleo y pies cúbicos diarios de gas natural se obtuvo del Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH, 2018). Para el cálculo del valor económico del petróleo y gas se recurrió a los precios internacionales de ambos recursos (Energy Information [EIA], 2018).

(continuación)



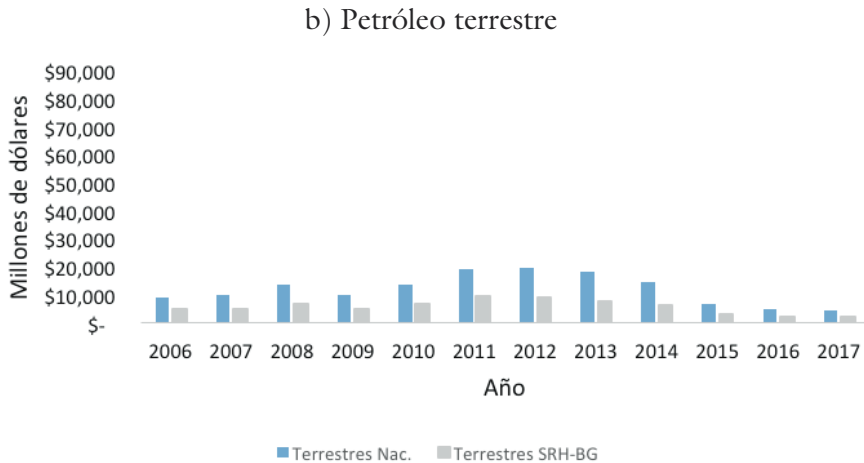
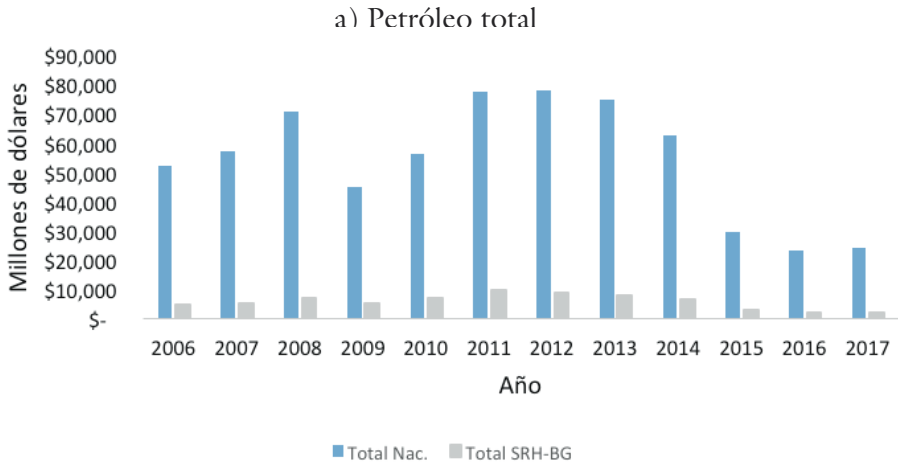
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del CNIH (2018).

La SRH-BG participa con 10 y 15 por ciento en la producción total de petróleo y gas natural a escala nacional, respectivamente; mientras que la SRH-RSJ aporta 14 por ciento a la producción de gas natural en el país. Si sólo se considera la extracción en las zonas terrestres (ver gráfica 2, c y d), la SRH-BG aporta 47 por ciento y 27 por ciento a la producción de petróleo y gas natural a escala nacional, respectivamente, mientras que la SRH-RSJ aporta 25 por ciento a la producción de gas natural. Esto muestra que la SRH-BG y la SRH-RSJ son áreas de gran importancia en la producción nacional, tanto de petróleo como de gas natural.

La interesante aportación de ambas subregiones hidrológicas en la producción de petróleo y gas natural repercute en su participación en el valor económico de la producción (ver gráfica 3). A escala nacional se estima que el valor promedio anual de la producción de petróleo y gas natural terrestre es igual a 16 000 millones de dólares entre 2006 y 2017; en 2012 se generó el mayor valor (22 000 millones) y en 2017, el menor (6 000 millones) (ver gráfica 3, b y d). De ese valor promedio anual, la SRH-RSJ

aporta 7.6 por ciento, mientras que la SRH-BG, 40.9 por ciento. Es decir, ambas subregiones hidrológicas son importantes, tanto por la cantidad de producción que aportan al total nacional, como por el valor económico de dicha producción. Por lo general, el salto en el comportamiento del valor de ambos productos extraídos se explica principalmente por los cambios en el precio internacional de los mismos.

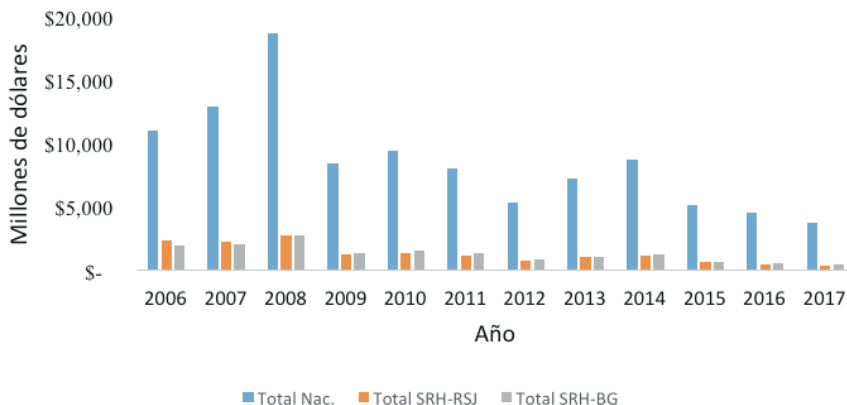
Gráfica 3. Valor monetario de la producción al año de petróleo y gas natural, 2006-2017



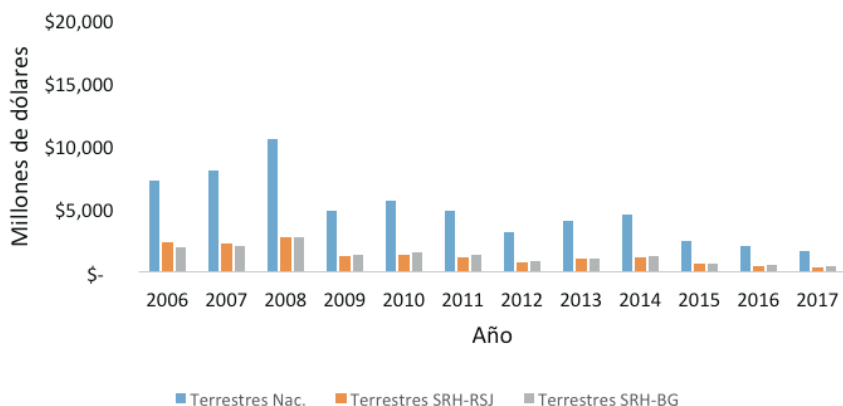
(continúa)

(continuación)

c) Gas nacional



d) Gas terrestre



Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Geológico Mexicano (2017).

La industria metalúrgica²

Como se indicó previamente, la industria minerometalúrgica (IMM) es la actividad económica relacionada con la extracción de elementos y minerales de los cuales se obtienen beneficios económicos. Esto es, pasa de ser sólo una actividad extractiva

² La información estadística para esta sección se obtuvo del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, del Proyecto Estadístico Industria Minerometalúrgica. Para el cálculo del valor económico del petróleo y gas se recurrió a los precios internacionales de los recursos minerales no petroleros.

a una actividad en la que se genera valor agregado. De acuerdo con el SCIAN, la industria minerometalúrgica se clasifica dentro del sector manufacturero (código 33, dos dígitos), en el subsector industrias metálicas básicas (código 331, tres dígitos). A escala internacional, la IMM está dividida en cuatro grandes grupos: *a)* metales industriales no ferrosos, que extraen y procesan principalmente cobre, plomo y zinc; *b)* metales preciosos, que extraen oro y plata; *c)* metales y minerales siderúrgicos, que extraen coque, *pellets* de fierro y fierro de extracción; y *d)* minerales no metálicos, que extraen barita, azufre y fluorita, entre otros.

La IMM se inserta en la actividad económica relacionada con la extracción de elementos y minerales de los cuales se puede obtener un beneficio económico con un valor agregado. Dicho sector presenta una participación de 2.5 por ciento promedio del PIB nacional en los últimos años, lo cual muestra su importancia económica. Entre 2001 y 2017, la IMM extrajo en promedio anual 16.5 millones de toneladas de recursos no renovables. El año de mayor extracción fue 2013, con 24.8 millones de toneladas, mientras que el año de menos extracción fue 2001, con 7.8 millones (ver a en la gráfica 4). De igual forma, se observa que hubo una tendencia a mayor producción entre 2001 y 2013, y posteriormente una reducción hasta 2017.

Si se analiza la participación en la extracción nacional de recursos no renovables por parte de las tres subregiones hidrológicas bajo estudio (considerando los municipios que las definen), se evidencia que la que presenta mayor participación es la SRH-RSJ, con un aporte de 7.1 por ciento promedio al año, seguida de la SRH-BG, con un aporte de 1.6 por ciento y la SHVM con un valor de 0.1 por ciento (ver a y b en la gráfica 5). En la SRH-RSJ, el grupo con mayor producción es metales y minerales siderúrgicos, donde la producción de fierro y *pellets* de fierro tienen un valor de 43.3 por ciento y 23.8 por ciento, respectivamente. En la SRH-VM destaca el grupo de metales industriales no ferrosos y el grupo de minerales no metálicos. En el primer grupo la producción de zinc representa 48.3 por ciento del total de producción minerometalúrgica de dicha subregión, mientras que la producción de azufre representa 34.1 por ciento. En el caso de la SRH-BG, destaca el grupo de minerales no metálicos, en el que la producción de azufre aporta aproximadamente 91 por ciento de toda la producción.

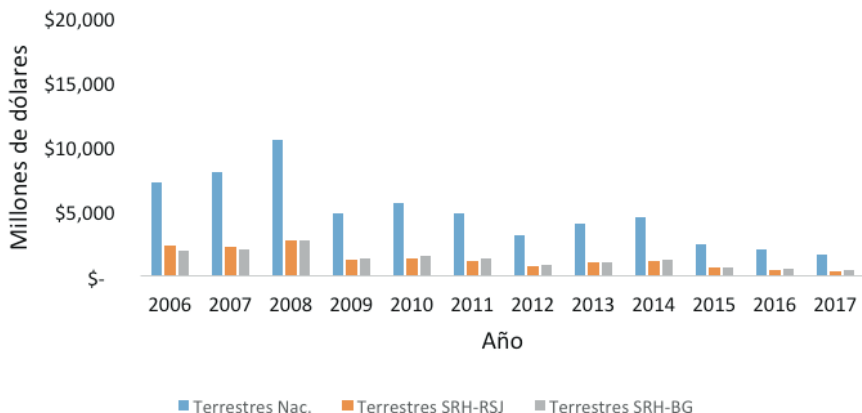
El valor económico promedio anual de la producción de la IMM, entre 2001 y 2017, fue de 2 992 millones de dólares estadounidenses³ (USD). En 2015 se obtuvo el mayor valor (USD 4 463 millones), mientras que en 2002 se obtuvo el menor (USD 1 788 millones) (ver a de la gráfica 6). Analizando a escala de subregiones hidrológicas, la SRH-RSJ genera anualmente un valor promedio de 70.6 millones de dólares en dicho período, lo cual representa 2.4 por ciento del total nacional. La SRH-BG y la SRH-VM aportan 1.2 por ciento y 0.6 por ciento, respectivamente, unos 27.3 y 12.8 millones de dólares (ver b en la gráfica 5). A escala nacional, la producción

³ En todos los casos son dólares estadounidenses.

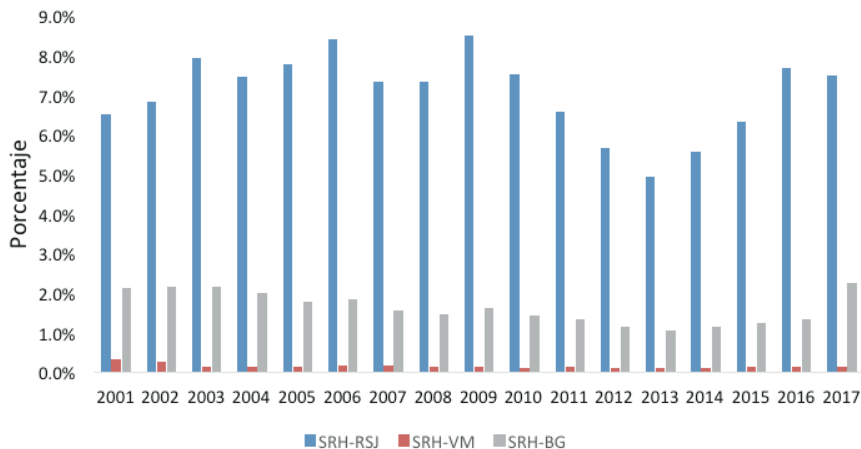
de oro, plata y cobre es la que aporta en mayor medida al valor económico (21.5 %, 24.7 % y 19.8 %). Analizando el aporte de los diferentes productos minerales del total del valor de cada subregión hidrológica, la producción de plata y de hierro en extracción es la más destacada en la SRH-RSJ (33.6 % y 18.7 %, respectivamente); en la SRH-VM destaca la producción de zinc (50.6 %) y en la SRH-BG, el azufre (82.5 %).

Gráfica 4. Producción anual minera, 2001-2017 (toneladas y porcentajes)

a) Toneladas

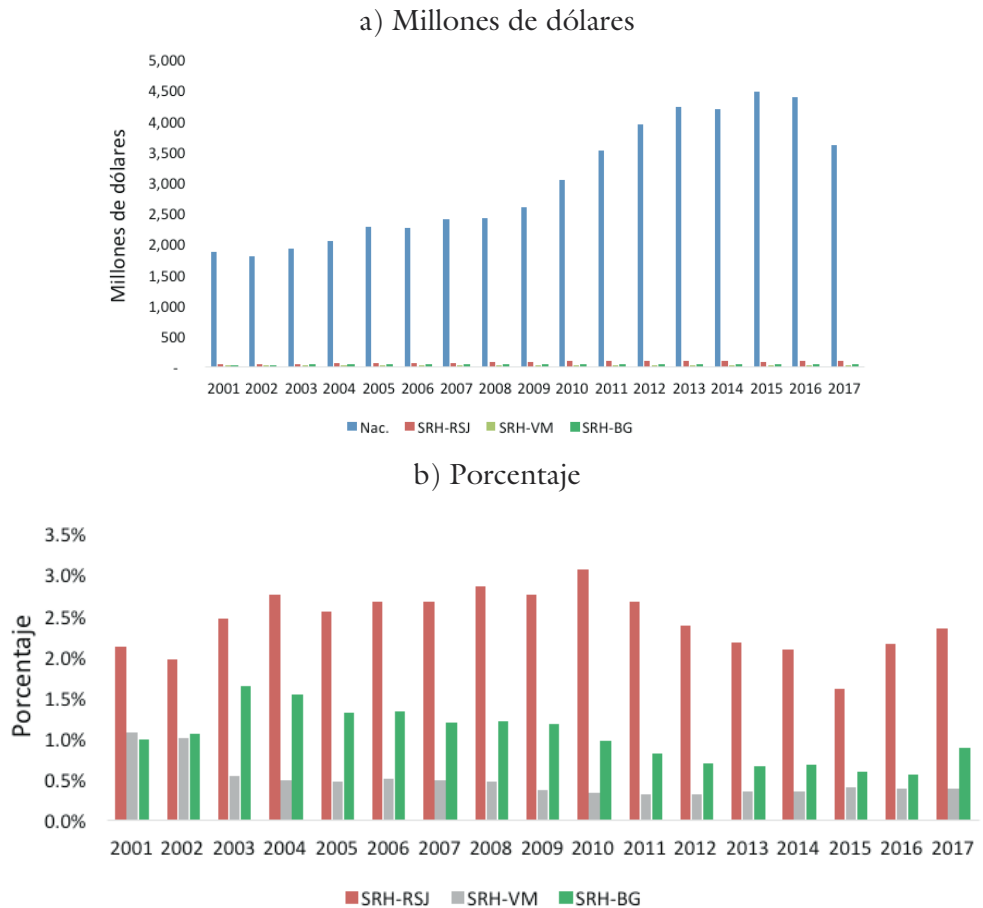


b) Porcentaje



Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Geológico Mexicano (2017).

Gráfica 5. Valor anual de la producción minera, 2001-2017 (dólares y porcentajes)



Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Geológico Mexicano (2017).

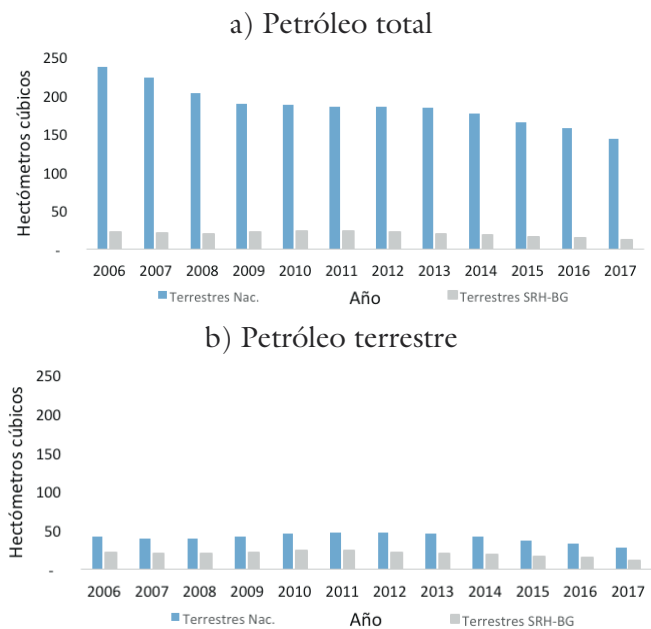
Uso del agua en el sector minero en las subregiones hidrológicas

De acuerdo con Sun, Elgowainy, Wang, Han y Henderson (2018), se requieren entre 227.4 y 341.1 litros de agua para extraer, transportar y refinar un barril de petróleo (ciclo de vida). Usando dicho factor se estimó que entre 2006 y 2017 se utilizan en promedio anual 277 hectómetros cúbicos de agua (hm^3) en la exploración y producción de petróleo y gas natural, tanto terrestre como marino, a escala nacional –resulta de la agregación del agua que usa la extracción petrolera y gas– (ver a y c en la gráfica 6). Si sólo se consideran la exploración y la producción terrestre, la cantidad

de agua promedio nacional es de 90 hm³, que resulta de la agregación de los usos terrestres de ambos tipos de producción (ver b y d en la gráfica 6).

Para dimensionar el uso del agua en el sector extractivo minero petrolero, se comparan los volúmenes anuales de agua que utiliza (277 hm³ total y 90 hm³ terrestre) con 2 198 hm³ de agua que requirió toda la industria de uso consuntivo en el país en 2015 (excluyendo las termoeléctricas), por lo que la industria extractiva minera representa 12.6 por ciento total y 4.1 por ciento terrestre.⁴ Considerando sólo la exploración y la producción terrestre, la cantidad de agua utilizada promedio a escala nacional es de 90 hm³, que se explica en 14.3 por ciento por la SHR-RSJ y en 35.6 % por la SRH-BG (ver c y d en la gráfica 6), lo que muestra su importancia en el uso del agua en el país.

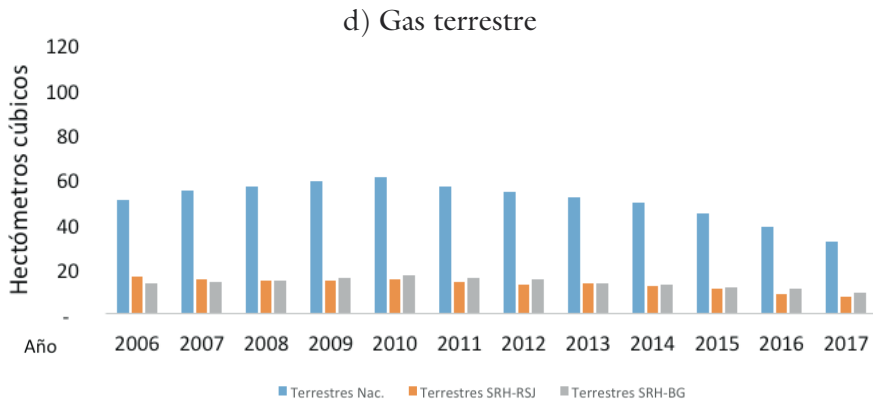
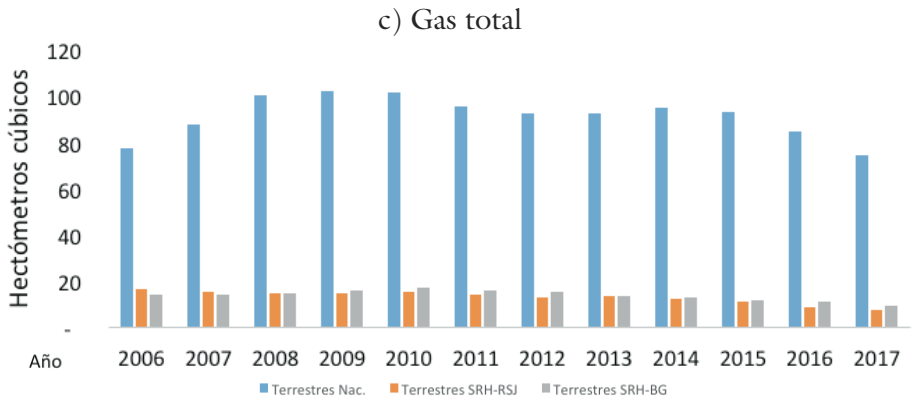
Gráfica 6. Consumo anual de agua (hm³) en la producción de petróleo y gas por subregión hidrológica, 2006-2017



(continúa)

⁴ El Registro Público de Derechos del Agua (REPD) tiene el objetivo de proporcionar información y seguridad jurídica a los usuarios de las aguas nacionales (superficiales y subterráneas) y sus bienes públicos inherentes, a través de la inscripción de los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga, haciendo constar la titularidad de los derechos inscritos y los cambios en sus características.

(continuación)

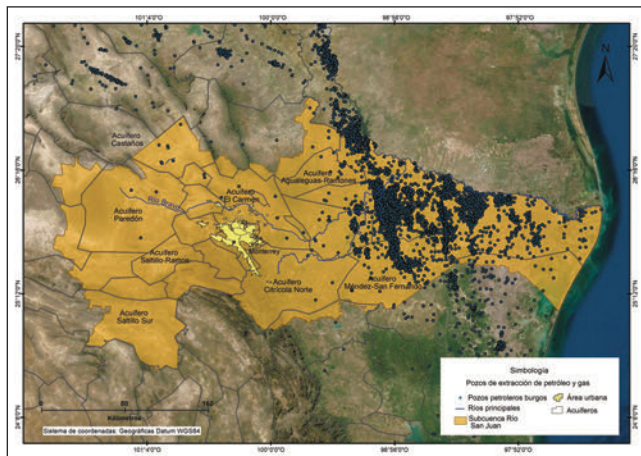


Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Geológico Mexicano (2017).

De acuerdo con Pemex (s. f.), el principal uso del agua terrestre se da en las actividades de transformación industrial. El agua cruda de fuentes superficiales y subterráneas representa 78.7 por ciento del consumo total de este recurso, el resto de la red de agua potable (Pemex, s. f.), específicamente en la actividad de exploración y producción (PEP) del total que utiliza, 47 por ciento proviene de fuentes subterráneas (acuíferos) y 48 por ciento de fuentes superficiales. Esto muestra que existe relación entre el uso de agua en el proceso productivo del sector minero-petrolero y los acuíferos.

En el caso de la SRH-RSJ, se observa en el mapa 2 que aproximadamente 10.5 por ciento de los pozos petroleros y de gas de la zona Burgos se ubican dentro de la zona donde hay 16 acuíferos, y la densidad de los mismos sugiere su importancia en extracción potencial.

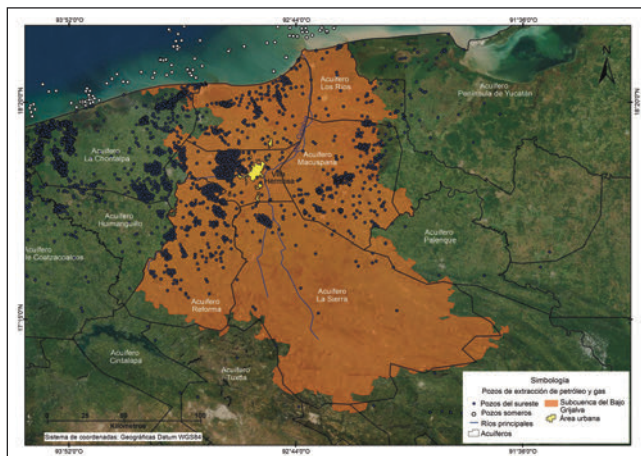
Mapa 2. Pozos de petróleo y de gas situados en la SRH-RSJ (por acuíferos)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Conagua (2018a, 2018b), del Inegi (2015) y del CNIH (2018).

En el caso de la SRH-BG, se observa en el mapa 3 que 45.6 por ciento de los pozos petroleros y de gas de la zona Cuenca Sureste están dentro de la zona donde hay cinco acuíferos y, según la densidad de éstos, se sugiere la importancia en su respectiva extracción.

Mapa 3. Pozos de petróleo y de gas situados en la SRH-BG (por acuíferos)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Conagua (2018a, 2018b), del Inegi (2015) y del CNIH (2018).

En el caso de la SRH-VM, se confirma que no existen pozos dentro de la zona en la que se ubican los siete acuíferos que registra.

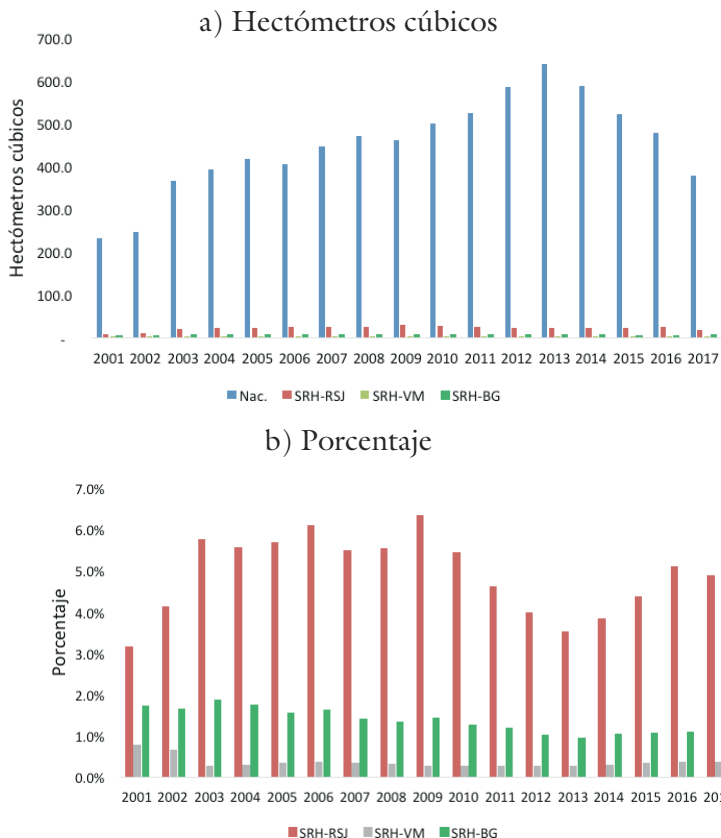
Uso del agua en el sector de la industria metalúrgica

La extracción y procesamiento en el sector de la IMM requiere grandes cantidades de agua, de forma similar al caso del sector extractivo de petróleo y gas natural. En esta actividad, el recurso se usa principalmente para eliminar la producción de polvo, para el lavado de carbón, durante el proceso de moler el mineral, la flotación y la extracción de minerales (Armendáriz-Villegas, 2016). El uso del agua en estas actividades extractivas se da en las primeras etapas de producción, en la descarga, el flujo, el drenaje y la filtración incontrolados y, por lo tanto, puede ocasionar un importante impacto negativo sobre el medio ambiente, principalmente en el suelo, el agua superficial y la subterránea (Lottermoser, 2010). Este aspecto, que es de suma importancia para el medio ambiente, no se aborda en este trabajo.

La IMM utilizó en promedio entre 400 y 450 hm³ de agua al año en el período de 2001 a 2017 (ver gráfica 7) y, de acuerdo con Monge, Patzi y Viale (2013), entre 35 por ciento y 40 por ciento del agua consumida procede de alguna fuente superficial; el resto, de fuente subterránea. En las tres subregiones hidrológicas investigadas, el consumo de agua por la IMM registra importancia diferenciada: en la SRH-RSJ el consumo es muy alto; le sigue en importancia la SRH-BG y con un consumo marginal la SRH-VM. En forma específica, la SRH-RSJ utiliza 5.3 por ciento del agua total que se consume a escala nacional; la SRH-BG, 1.3 por ciento; y la SRH-VM, aproximadamente 0.4 por ciento (ver gráfica 6). En el caso de la SRH-RSJ, la mayor cantidad de agua se utiliza en la generación de *pellets* de fierro y en su extracción (29.7 % y 45.1 %, respectivamente), mientras que casi 88.5 por ciento del agua que se consume en la IMM en la SRH-BG se destina a la extracción y el procesamiento de azufre; en el caso de la SRH-VM, en la generación de plomo y zinc (20.4 % y 63.3 %).

A escala nacional, se tienen registrados 1 036 títulos de aprovechamiento de agua de uso minero en posesión de 417 empresas, los cuales permiten extraer aproximadamente 436.6 hm³ (ver cuadro 2). Se observa que casi 12 por ciento de dichos títulos se concentra en la SRH-RSJ, dos por ciento en la SRH-VM y sólo 0.7 por ciento en la SRH-BG. Así mismo, en forma correspondiente, 8.6 por ciento de las empresas que demuestran la posesión de los títulos se ubica en la SRH-RSJ, 3.1 por ciento en la SRH-VM y 1.0 por ciento en la SRH-BG.

Gráfica 7. Consumo anual de agua en la producción minera nacional y por subregión hidrológica, 2001-2017 (hm³)



Fuente: Elaboración propia con base en el Servicio Geológico Mexicano (2017).

Cuadro 2. Títulos de Aprovechamiento de agua registrados en el REPDA para empresas mineras

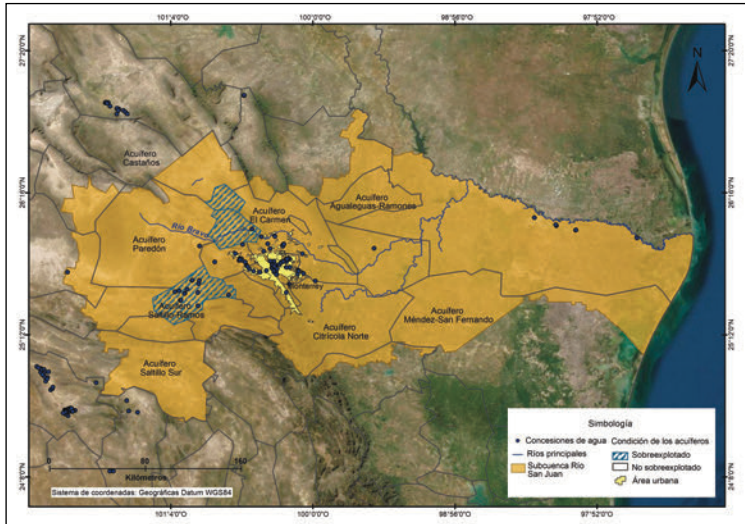
Subregión Hidrológica	Títulos		hm ³ /anuales		Empresas	
	Valor	Porcentaje	Valor	Porcentaje	Valor	Porcentaje
Río San Juan (SRH-RSJ)	122	11.8	25.1	5.8	36	8.6
Valle de México (SRH-VM)	20	1.9	2.4	0.6	13	3.1
Bajo Grijalva (SRH-BG)	7	0.7	4.4	1	4	1
País	1 036	100	436.6	100	417	100

Fuente: Elaboración propia a partir del REPDA (Conagua, 2017).

Existe una relación directa entre la producción y el uso de agua, lo que se muestra en los mapas 4, 5 y 6, donde se señalan las concesiones mineras y los títulos de aprovechamiento de agua registrados en el REPD. En dichas figuras se ubican geográficamente los derechos de extracción de agua de uso minero en los respectivos acuíferos de las tres subregiones hidrológicas investigadas, y se señalan aquellos que se encuentran calificados en sobreexplotación.

En el caso de la SRH-RSJ, los 122 títulos se distribuyen en el territorio de los 16 acuíferos que conforman dicha subregión hidrológica (ver mapa 4), y casi 35 por ciento de éstos están en tres acuíferos sobreexplotados (Campo Mina, Saltillo-Ramos-Arizpe y Campo Jaritas).

Mapa 4. Derechos de extracción de agua de uso minero por acuífero en la SRH-RSJ

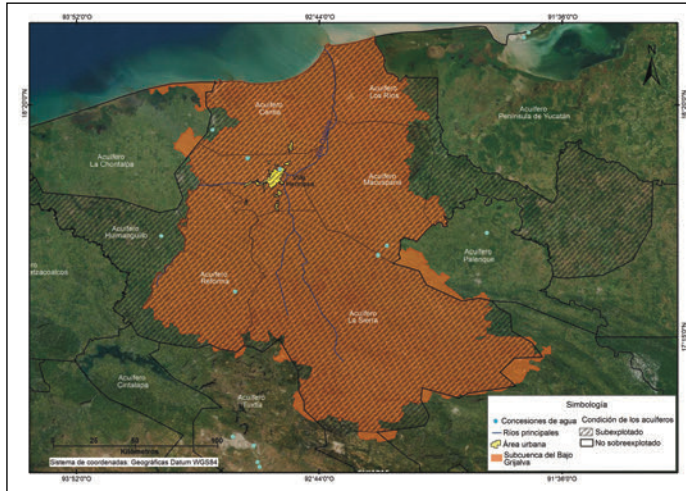


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Conagua (2018a, 2018b), del Inegi (2015) y del CNIH (2018).

En el caso de la SRH-VM (ver mapa 5), los 20 títulos de aprovechamiento de agua de uso minero se ubican en acuíferos sobreexplotados (Cuautitlán-Pachuca, zona metropolitana de la Ciudad de México y Chalco-Amecameca).

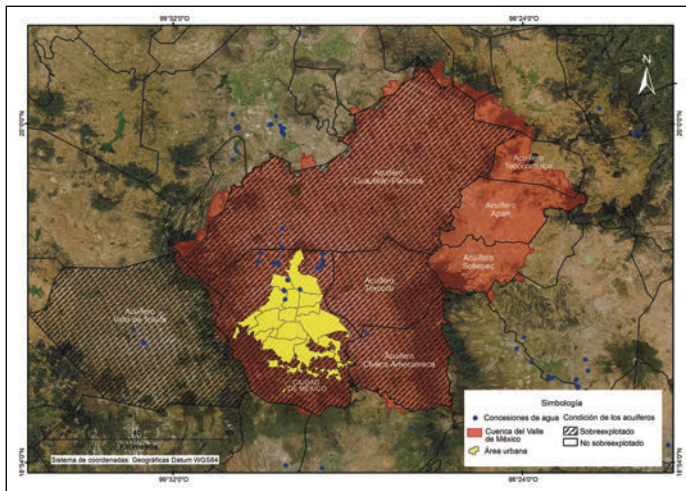
En el caso de la SRH-BG (ver mapa 6), los siete títulos registrados se ubican en los cinco acuíferos cuyo estado es de muy baja explotación (subexplotados). Es necesario indicar que no se tiene el registro de la cantidad de extracción de agua en dichos acuíferos; pero, como indican Monge *et al.* (2013), el agua consumida por la IMM, preferentemente procede entre 60 por ciento y 65 por ciento de alguna fuente subterránea.

Mapa 5. Derechos de extracción de agua de uso minero por acuífero en la Subregión Hidrológica Valle de México



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Conagua (2018a, 2018b), del Inegi (2015) y del CNIH (2018).

Mapa 6. Derechos de extracción de agua de uso minero por acuífero en la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Conagua (2018a, 2018b), del Inegi (2015) y del CNIH (2018).

Conclusiones

El sector extractivo minero en México se divide en petrolero y no petrolero. A escala mundial, México ocupa el puesto decimosegundo en la producción de petróleo, después de importantes productores como Rusia, Arabia Saudita, Estados Unidos, Iraq e Irán. En la producción minera no petrolera, México ocupa el puesto decimotercero a escala mundial; el primer lugar lo tiene China. México es el primer productor a escala mundial de plata. Es el segundo en la producción de fluorita y el tercero en bismuto, celestita y wollastonita. El aporte al PIB del país por parte del sector minero es de 7.5 por ciento. El subsector minero-petrolero es el que aporta más en general (6.2 %) y también más respecto al subsector minero no petrolero (0.9 %). La industria metalúrgica que se basa en el sector minero no petrolero aporta al PIB nacional 2.5 por ciento. Estos datos evidencian la importancia económica del sector minero como de la industria metalúrgica en el país.

Existen aproximadamente 33 000 concesiones mineras no petroleras ubicadas en casi todo el país, con un mayor peso en el centro y en el noreste. En el caso de la extracción de petróleo y gas, existen cinco zonas de pozos de petróleo y gas distribuidos en el país, con mayor presencia en el norte y en el sureste. En las tres subregiones hidrológicas investigadas se realizan actividades mineras; sin embargo, su incidencia en cada una es diferenciada. Detectar su importancia en cada una es determinante, porque es una actividad que registra un uso intensivo del agua y que afecta mucho tanto la disponibilidad como la demanda de recursos hídricos de cada subregión hidrológica; en el caso de la disponibilidad de agua, debido a la generación de contaminantes y desechos que afectan la calidad de dicho recurso, mientras que en el caso de la demanda, debido a la competencia con otros sectores.

De las tres subregiones hidrológicas de estudio, la SRH-VM, localizada en el centro del país, no registra actividad minera petrolera; en el norte, la SRH-RSJ sólo presenta actividad de extracción de petróleo y en la de Bajo Grijalva (SRH-BG) se extraen tanto petróleo como recursos no petroleros. Por otro lado, la industria metalúrgica se localiza en las tres subregiones. La SRH-RSJ presenta mayor participación en la extracción total a escala nacional, con un aporte de 7.1 por ciento promedio al año, seguida de la SRH-BG, con un aporte de 1.6 por ciento y la SRH-VM, con un valor de 0.1 por ciento.

El uso de agua por la industria minera resulta de alta intensidad en todo su proceso productivo, especialmente en la extracción. En la exploración y producción de petróleo y gas natural, tanto terrestre como marino, a escala nacional se estima que se utilizan en promedio 277 hm³ al año. Si sólo se consideran la exploración y la producción terrestre, la cantidad de agua promedio a escala nacional es de 90 hm³. Para dimensionar la intensidad del uso del agua del sector extractivo minero, se anota que, de acuerdo con el REPDA (Conagua, 2017), la industria (excluyendo las

termoeléctricas) utilizó 2 198 hm³ en 2015. El uso del agua de la industria extractiva minera petrolera y no petrolera representa 12.6 por ciento. Si se consideran sólo la exploración y la producción terrestre, la cantidad de agua utilizada promedio a escala nacional es de 90 hm³, volumen del que 14.3 por ciento se utiliza en la SRH-RSJ y 35.6 por ciento en la SRH-BG.

La extracción de petróleo requiere el consumo de agua cruda de fuentes superficiales y subterráneas (78.7 %); el resto proviene de la red de agua potable. Las actividades de exploración y producción utilizan 47 por ciento de las fuentes subterráneas (acuíferos) y 48 por ciento de las superficiales. En el caso de la SRH-VM, se confirma que no existen pozos dentro de la zona de los siete acuíferos; en la SRH-RSJ, 10.5 por ciento de los pozos de la zona petrolera Burgos están en la zona de sus 16 acuíferos y 45.6 por ciento de los pozos de la zona petrolera Cuenca Sureste están dentro del área de los cinco acuíferos de la SRH-BG.

De igual forma, la industria metalúrgica requiere grandes cantidades de agua. En esta actividad, el recurso principalmente se usa para eliminar la producción de polvo, para el lavado de carbón, durante el proceso de moler el mineral, la flotación y la extracción. La descarga, el flujo, el drenaje y la filtración incontrolados de esta actividad pueden ocasionar importantes daños a la población y el medio ambiente (suelo, tierra y agua), aspecto de suma importancia para el bienestar de la sociedad. Dicho aspecto no se aborda ampliamente en este trabajo, pero indica la línea de un trabajo futuro.

Los cálculos permiten evidenciar que la industria metalúrgica utiliza en promedio entre 400 y 450 hm³ de agua al año y que entre 40 por ciento y 45 por ciento del agua consumida procede de alguna fuente superficial, el resto de fuente subterránea. El consumo de agua en la industria metalúrgica de la SRH-RSJ es relativamente alto (5.3 % del total nacional), le sigue la SRH-BG (1.3 %) y registra un consumo marginal la SRH-VM (0.4 %). En el caso de la SRH-RSJ la mayor cantidad de agua se utiliza en la generación de pellets de fierro y en su extracción (29.7 % y 45.1 %, respectivamente), mientras que casi 88.5 por ciento del agua que se consume en la SRH-BG se destina a la extracción y al procesamiento de azufre; en el caso de la SRH-VM, en la generación de plomo y zinc (20.4% y 63.3 %).

De igual forma, hay una relación directa entre la extracción y el procesamiento en la industria metalúrgica y el uso de agua. A escala nacional se tienen registrados 1 036 títulos de aprovechamiento de agua relacionados con actividades mineras, en posesión de 417 empresas, los cuales reportan aproximadamente 436.6 hectómetros cúbicos de agua (hm³). Aproximadamente 12 por ciento de dichos títulos se concentra en la SRH-RSJ, dos por ciento en la SRH-VM y sólo 0.7 por ciento en la SRH-BG. Por otro lado, se evidencia que en el caso de la SRH-RSJ, los 122 títulos se distribuyen en el territorio de los 16 acuíferos que conforman dicha subregión hidrológica, y casi 35 por ciento de éstos están en tres acuíferos sobreexplotados (Campo Mina, Saltillo-Ramos-Arizpe y Campo Jaritas).

En el caso de la SRH-VM, los 20 títulos de aprovechamiento de agua de uso minero se ubican en acuíferos sobreexplotados (Cuautitlán-Pachuca, zona metropolitana de la Ciudad de México y Chalco-Amecameca). En el caso de la SRH-BG, los siete títulos registrados se ubican en los cinco acuíferos cuyo estado es de muy baja explotación (subexplotados). Es necesario indicar que no se tiene el registro de la cantidad de extracción de agua en dichos acuíferos; pero, como indican Monge *et al.* (2013), el agua consumida por la industria metalúrgica preferentemente procede entre 55 por ciento y 60 por ciento de alguna fuente subterránea.

Es importante mencionar que, si bien éste es un estudio preliminar sobre el uso de agua en la producción minera y en la industria metalúrgica en las tres subregiones hidrológicas de México, es necesario seguir con investigaciones en este campo en todo el país. Este estudio estima la cantidad de agua que consumiría este sector en su proceso de producción, su ubicación geográfica (principalmente en fuentes subterráneas) y su posible disputa con otros sectores potenciales a usar dicho recurso natural (el lado de la demanda del recurso). De igual forma, es necesario estudiar el impacto de este sector, muy importante para la economía, sobre la calidad del recurso y otros bienes y servicios ecosistémicos (oferta del recurso) y sus efectos sobre el bienestar de la sociedad.

Finalmente, es importante enfatizar que a raíz de los debates y posterior emisión de la reforma constitucional del 12 de agosto de 2013, referente a la reforma energética, la situación del manejo de dichos recursos naturales empieza con una serie de transformaciones importantes. Principalmente, la reforma permite la participación de empresas privadas en la explotación y venta de petróleo y gas, aunque los hidrocarburos se mantienen en la propiedad del Estado; se abre la competencia en el abasto de energía eléctrica, ya no siendo la Comisión Federal de Electricidad (CFE) la única que puede prestar dicho servicio. Se abre además la posibilidad de utilizar *fracking* o la fracturación hidráulica en la explotación de los yacimientos de gas de lutitas que se encuentran en su gran mayoría en el noreste del país y la posibilidad de ocupar temporalmente tierras en los sitios donde se detecten hidrocarburos y en las que antes no se permitía su extracción. Todas estas nuevas reglas en la explotación de hidrocarburos y minerales en el país pueden traer consecuencias negativas o positivas sobre el uso de suelo, el bienestar de la sociedad, la generación de ingresos económicos para algunos sectores y sobre el uso de los recursos naturales que se utilizan en el proceso de explotación de petróleo, gas o minerales, como es el agua.

Referencias

- Armendáriz-Villegas, E. (2016). Áreas naturales protegidas y minería en México: perspectivas y recomendaciones (tesis doctoral). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz, Baja California.
- Buscher, B., Sullivan, S., Neves, K., Igoe, J. y Brockington, D. (2012). Towards a synthesized critique of neoliberal biodiversity conservation. *Capitalism Nature Socialism*, 23(2), 4-30.
- Centro Nacional de Información de Hidrocarburos (CNIH). (2018). Sistema de información de hidrocarburos [base de datos]. Recuperado de <https://hidrocarburos.gob.mx/estad%C3%ADsticas/>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2017). Registro Público de Derechos de Agua (REPGA). Recuperado de <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018a). Actualización de la disponibilidad media anual de aguas subterráneas de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/actualizacion-la-disponibilidad-media-anual-agua-subterranea-los-653-acuiferos-mexico-febrero-2018/>
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018b). *Sistema Nacional de Información del Agua* [base de datos]. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- De la Fuente-López, A. (s. f.). *La explotación de los hidrocarburos y los minerales en México: un análisis comparativo*. México: Fundación Heinrich Böll.
- De la Fuente, B., Arredondo, O., Hayrikyan, T., Castillo, M., Escamilla, O., Garduño, J. y Llano, M. (2017). *Las actividades extractivas en México: estado actual. Anuario 2016*. México: Fundar/Centro de Análisis e Investigación, A. C.
- Energy Information Administration (EIA). (2018). *Natural Gas* [base de datos]. Recuperado de <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdA.htm>
- Hernández-Acosta, E., Mondragón-Romero, E., Cristóbal-Acevedo, D., Rubiños-Panta, J. E. y Robledo-Santoyo, E. (2009). Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2), 109-114.
- Lottermoser, B. (2010). *Mine Wastes, Characterization, Treatment and Environmental Impact*. Australia: Springer.
- Monge, C., Patzi, F. y Viale, C. (2013). *Minería, energía, agua y cambio climático en América Latina*. Fundación Heinrich Böll.
- Moran, R. (2000). Is This Number to Your Liking? Water Quality Predictions in Mining Impact Studies. En D. Sarewitz, R. Pielke y R. Byerdly Jr. (edits.). *Prediction, Science Making and the Future of Nature* (pp. 185-198). EE. UU.: Island Press.
- Pacheco-Gutiérrez, L. y Domínguez-de-Bazúa, M. (2007). Uso del agua en la industria minera. Parte 2: Estudio de opciones para reciclar el agua de proceso. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 22(1), 15-29.

- Petróleos Mexicanos. (s. f.). Desempeño ambiental. Recuperado de http://www.pemex.com/informes/2014/desempeno_ambiental/index.html#!w2
- Secretaría de Economía. (2017). *Prontuario de la industria minero metalúrgica*. Subsecretaría de Minería (documento de trabajo). Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227657/Prontuario_2017.pdf
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Anuario estadístico de la minería mexicana, 2016-2018*. Ciudad de México: Autor. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- Sun, P., Elgowiny, A., Wang, M., Han, J. y Henderson, R. (2018). Estimation of U.S. refinery water consumption and allocation to refinery products. *ScienceDirect* 222, 542-557. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.089>

CAUDAL ECOLÓGICO: UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES SUBREGIONES HIDROLÓGICAS

Silvia Alicia Rodríguez Tapia / Ana Elizabeth Marín Celestino /
Lilia Rodríguez Tapia

Introducción

Los caudales y las cargas de los ríos controlan, en gran medida, los procesos ecológicos fundamentales, tanto del propio río como de los ecosistemas relacionados (Poff y Zimmerman, 2010; Zhang, Singh, Zhang, Gu y Sun, 2016). Cualquier variación en el caudal o carga del río se manifiesta en los componentes, la estructura y las funciones del propio ecosistema y los relacionados (McClain *et al.*, 2014; Tsai, Chang y Herricks, 2016; Yang, Liu, Chen, Zhang y Yang, 2014). Estas alteraciones hidrológicas pueden disminuir la cantidad y la calidad del agua (pérdida del caudal natural), el hábitat disponible (desincronización de los ciclos de vida) y las características físicas de los canales, las cuencas y los planos de inundación (cese de la conectividad hidráulica lateral y longitudinal), entre otras alteraciones (Shaeri, Yasi y Eslamian, 2012; Yin, Yang y Petts, 2015; Zhang *et al.*, 2016).

Mantener o recuperar la estabilidad de un ecosistema acuático obliga a conocer el régimen hidrológico natural (patrón estacional de caudales, crecidas y tasas de cambio) que ha permitido el equilibrio de dicho ecosistema, para intentar reproducir el régimen hidrológico natural y mantener en el río un caudal tal que mantenga o recupere la integridad ecológica de los ecosistemas alterados. Específicamente, a la cantidad, calidad y variación de los caudales para mantener la integridad ecológica de un ecosistema acuático, así como para sostener los medios y el bienestar de la vida humana, se las definen como caudal ecológico (Gupta, 2008; NMX-AA-159-SCFI, 2012; Yang *et al.*, 2014). El régimen natural de los caudales en los ríos ha cambiado, principalmente, debido al uso diverso del agua por la actividad humana.

La integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y las fuentes de agua segura dependen, en gran medida, de la gestión sustentable de los recursos hídricos (Acreman y Dunbar, 2004; Yang *et al.*, 2014). Esta consideración ha impulsado la evaluación de

los caudales ecológicos o caudales ambientales (Bunn y Davies, 2000; Ordóñez *et al.*, 2011). De esta manera se advierte que la determinación del caudal ecológico se deberá aplicar a las corrientes de cada cuenca, es decir, mediante la elección de sitios de muestreo bajo una metodología seleccionada de acuerdo con la aproximación y el abordaje de la problemática a estudiar, considerando, por lo tanto, como unidad primordial para realizar la evaluación del caudal ecológico a la cuenca hidrográfica (Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, 2002; Ordóñez *et al.*, 2011).

En la introducción general de este libro, se definió el concepto de cuenca hidrográfica como la zona en la que los escurrimientos drenan hacia un mismo punto de salida a través de un río principal (Cotler, 2010; Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos [SARH], 1977). Es importante recordar este concepto porque para la determinación del caudal ecológico se consideró el drenaje superficial, en cuanto a sus efectos sobre la relación entre precipitación y escurrimiento, sus factores geométricos (tamaño, forma, pendiente, red de drenaje y tiempo de concentración) y físicos (cobertura vegetal y características del suelo).

De la misma manera, estas características se mencionan en el primer capítulo de este libro para cada subregión hidrológica. A su vez, cada subregión hidrológica se delimitó en otras subcuencas, de manera que fue posible extrapolar los datos de algunas subcuencas, bajo el concepto de región geográfica, es decir, considerando que este espacio heterogéneo está dotado de unidad por ciertas características, en este caso, las físicas dominantes. De esta manera, según algunos autores, la subregión hidrológica tiene sentido de unidad regional y se fortalece como la unidad óptima de estudio del caudal ecológico, para fines de gestión integrada (Cotler, 2010).

Maneras de evaluación del caudal ecológico

Las primeras evaluaciones del caudal ecológico surgieron en la década de 1940, en Estados Unidos, Inglaterra y Australia; y a mediados de la década de 1980, en Nueva Zelanda. En los países en desarrollo, como México, el estudio del caudal ecológico es reciente (Tharme, 2003). Las metodologías que se han desarrollado se agrupan en: holísticas, de simulaciones de hábitat, hidráulicas e hidrológicas. Cada metodología depende de la forma en que se aborda la evaluación del caudal ecológico y, según se listan a continuación, las primeras metodologías son más complejas en análisis y más costosas para el cálculo del caudal ecológico.

- 1) *Métodos holísticos*: se basan en el estudio de la complejidad ecológica de los sistemas acuáticos epicontinentales. Investigan integralmente el sistema fluvial, poniendo especial atención a los eventos hidrológicos críticos del patrón de flujo, el cual define la variabilidad natural. A partir del régimen modificado, se construye sistemáticamente el régimen de caudales, considerando todos

los elementos, tales como hidrológicos, hidráulicos, ecológicos y geomorfológicos, entre otros. El método holístico aplicado con más frecuencia es la metodología de componentes básicos (BBM, por sus siglas en inglés), la cual ha evolucionado al método de respuesta al flujo de transformación impuesto río abajo (DRIFT, por sus siglas en inglés), el cual incorpora al análisis los aspectos sociales y económicos, además de generar escenarios de requerimientos de caudales y de los efectos que provocan en el escenario biofísico y socioeconómico. En México, el método BBM fue aplicado en el río Conchos, Chihuahua (Barrios, Barajas, Rodríguez y González, 2007).

- 2) *Métodos de simulación o modelación de hábitat*: consisten en el análisis minucioso de hábitats físicos para especies objetivo dentro de un río, bajo escenarios de diferentes descargas. Consideran variables hidrológicas, hidráulicas y biológicas. Esta metodología (PHABSIM, por sus siglas en inglés) ha sido usada ampliamente en Estados Unidos. La metodología más común es la metodología de incremento de flujo interno (IFIM, por sus siglas en inglés). En México, se evaluó la metodología IFIM para calcular el caudal ecológico en el río Santiago, Nayarit (García, González, Martínez, Athala y Paz, 1999); también se comparó este método con el método hidrológico Tennant modificado, utilizando técnicas estadísticas multivariadas (González y Banderas, 2007).
- 3) *Métodos hidráulicos*: los métodos hidráulicos emplean relaciones cuantificables entre calidad y cantidad del recurso. Estos métodos consideran variables hidráulicas, tales como perímetro húmedo o profundidad máxima. Los métodos hidráulicos se consideran precursores de las metodologías de simulación de hábitat (Tharme, 2003).
- 4) *Métodos hidrológicos*: estos métodos, también conocidos de porcentaje fijo, han sido los más usados a escala mundial. Arrojan información sobre la funcionalidad ecológica de los ecosistemas y reproducen los elementos más significativos de la hidrodinámica de la cuenca (episodios de estiaje, avenidas y flujos máximos del caudal). Otros aspectos fundamentales que consideran estos métodos, son la importancia ecológica, la presión por el uso del agua, el objetivo ambiental y el porcentaje del caudal anual recomendado para la protección ambiental (Fondo Mundial para la Naturaleza [WWF, por sus siglas en inglés], 2011). La información requerida es hidrológica, de hábitats y biológica.

En México, en años recientes, la WWF ha propuesto un método hidrológico adaptado al contexto de sus recursos hídricos, para caracterizar e identificar el régimen de variación natural en las cuencas hidrográficas y conocer en qué momento

y bajo qué condiciones se puede mantener la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y, al mismo tiempo, abastecer las actividades antropogénicas. Sin embargo, el método de Tennant ha sido el más contrastado en el mundo (Cavendish y Duncan, 1986; Milhous, Updike y Scheider, 1989) y el más aplicado en México; con este método se pueden establecer caudales recomendados en evaluaciones de impacto ambiental en presas (Gómez-Balandra *et al.*, 2007). Este método ha sido adaptado por García *et al.* (1999) para las condiciones de nuestro país.

Este método requiere información hidrométrica y el seguimiento biológico de una especie seleccionada de, por lo menos, veinte años continuos, período que se considera representativo para observar modificaciones hidrológicas y del hábitat (Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, 2012). La metodología hidrológica de Tennant, modificada por García *et al.* (1999), divide el año en año húmedo y año seco, y en cada uno se determina el porcentaje del caudal medio interanual para lograr una calidad de hábitat fluvial determinada. Los caudales ecológicos se expresan como porcentajes del escurrimiento medio anual (porcentaje EMA) y se relacionan con grados de conservación. Una ventaja de la metodología hidrológica de Tennant, modificada por García *et al.* (1999), es que genera resultados en el corto plazo acerca del conocimiento del volumen del caudal ecológico y las características del hábitat evaluado. Este método está contemplado en la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas.

Subregiones hidrológicas de estudio

En este trabajo, la evaluación del caudal ecológico se realizó utilizando el método hidrológico de Tennant (1976), modificado por García *et al.* (1999), recomendado por la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, con series de datos de veinte años (1996-2016). La escala de aplicación de esta metodología fue a nivel de subregión hidrológica (SRH). Esta escala sólo proporciona resultados relativos para un manejo precautorio, es decir, para tener una idea, un estimado del comportamiento general del caudal ecológico. Tres subregiones hidrológicas fueron evaluadas: la Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ), la Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM) y la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG) (ver el primer capítulo de este libro para su ubicación y características). En cuanto al estudio del caudal ecológico, cada subregión hidrológica posee una problemática regional diferente respecto al uso del agua, importancia de sus afluentes y acuíferos asociados, localización de los diferentes usuarios e información hidroclimatológica disponible, como se detalla en el primer y segundo capítulo de este libro. A continuación sólo se mencionan aspectos generales.

- 1) *Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)*. Los principales afluentes al río San Juan son los ríos Salinas y Pesquería, por la margen izquierda; los ríos Santa Catarina y Pilón, por la margen derecha. Esta cuenca contiene tres grandes presas: Marte R. Gómez, Rodrigo Gómez (La Boca) y El Cuchillo. Las dos últimas se localizan en el estado de Nuevo León y desde ellas se transporta agua potable a la zona metropolitana de Monterrey (Martínez-Pérez, 2012). Predomina un clima semicálido subhúmedo (A)Cx' con temperatura media anual mayor a 18 °C. Las lluvias se reparten todo el año con precipitación en el mes más seco inferior a 40 mm y lluvia invernal mayor a 18 por ciento del total anual. Actualmente existe un incremento generalizado en la tendencia de degradación de los recursos naturales y en los usos antrópicos del suelo. Fueron los asentamientos humanos la cobertura con la tasa más alta de cambio en el período 1985-2011, con un incremento de 8.46 por ciento (132 127.70 ha). La flora ribereña es prácticamente inexistente, pues de 1985 a 2011 presentó una tasa de cambio de 100 por ciento (Martínez-Pérez, 2018).
- 2) *Subregión hidrológica Valle de México (SRH-VM)*. La subregión contiene 1 370 cuerpos de agua, 106 de ellos son perenes y el resto, intermitentes. En total cubren un área de 6 799 ha (0.71 %) de la superficie total. La corriente principal es el río Tula. La temperatura oscila entre 10 °C en su temporada más fría y 36 °C en su temporada cálida. La precipitación media anual se encuentra entre 800 mm y 1 500 mm. Los climas predominantes son semifrío subhúmedo C(w1) y templado subhúmedo C(w0). Respecto al uso de suelo, la zona agrícola ocupa la mayor área, seguida por la cubierta vegetal y la zona urbana. Esta subregión contiene 14 áreas naturales protegidas, en su mayoría ubicadas al sureste y al suroeste, y una al norte. Abarcan una superficie de 74 435 ha, que corresponden a 7.8 por ciento de la superficie total.
- 3) *Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)*. Se ubica en la parte sur del país y cubre Tabasco y Chiapas y, en menor grado, Veracruz. Su altitud mínima es de 18 m y las montañas del parteaguas alcanzan hasta 2 901 m. En términos de su caudal hídrico, es una de las más importantes del país, pues están en ella algunas de las zonas más lluviosas. Sus escurrimientos inician en la zona montañosa alta de Chiapas, los que se concentran en el cauce bien definido del río Grijalva, que cruza las montañas del norte de Chiapas, y recibe más aportes de agua de otros tributarios hasta llegar a la planicie tabasqueña para, finalmente, desembocar en el golfo de México. Esta cuenca contiene poca infraestructura hídrica, pero incluye industria petrolera. En su superficie predominan bosques y selvas, seguidos por la agricultura de riego y temporal.

Análisis comparativo

Para la determinación del caudal ecológico, se partió de reconocer las condiciones naturales del régimen hidrológico y su estado de alteración, así como las posibilidades de conservación o recuperación de los componentes para nuevamente alcanzar o mantener un estado ecológico deseado u objetivo ambiental, de la subregión de interés. A continuación, se muestran los pasos y la síntesis de los resultados sobre las cuencas que se estudiaron, donde se pueden observar las similitudes, las diferencias y los patrones que se obtuvieron bajo el mismo enfoque y metodología.

Importancia ecológica de la cuenca

La importancia ecológica de la cuenca se refiere a la particularidad, rareza o grado de amenaza para las especies, los hábitats o ecosistemas que dependen del régimen hidrológico en dicha cuenca. La valoración de la importancia ecológica considera aspectos bióticos y abióticos. Los aspectos bióticos son la diversidad de especies, la rareza, el peligro de extinción, las amenazas o intolerancia a las alteraciones del régimen hidrológico y los endemismos, entre otros. Los aspectos abióticos son aquellos relativos a la diversidad de hábitat, a las transformaciones en el cauce, a los cambios en las zonas riparias, la pérdida de función como refugio, el corredor biológico para rutas migratorias y la disminución de la calidad del agua, entre otros (Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, 2012).

La calificación de la importancia ecológica de cada subregión hidrológica consideró el número de cuencas en cada una de ellas y la presencia, en por lo menos algunas de ellas, de áreas naturales protegidas (federales, estatales, municipales y certificadas), de humedales de importancia internacional (Convención de Ramsar) y de sitios prioritarios para la conservación de los ecosistemas acuáticos epicontinentales (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp], 2010). Con base en la información anterior, bajo los criterios ya establecidos en la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, se clasificaron los aspectos bióticos, de integridad ecológica y de alteración ecohidrológica para cada cuenca de las que conforman las subregiones de estudio, y se determinó la importancia ecológica de la cuenca a escala de subregión. En el cuadro 1 se muestra la síntesis de los resultados.

Presión por el uso del agua

Es sabido que el agua disponible en una cuenca no sólo es para el consumo humano, sea éste doméstico, agrícola o industrial, ya que una parte del líquido es necesaria para la supervivencia de los ecosistemas acuáticos y los relacionados, es decir, para el

caudal ecológico. En el caso de la SRH-RSJ, la disponibilidad media anual superficial es de 12 833 hm³; en la SRH-VM es de 3 537 hm³; y en la SRH-BG el agua disponible alcanza los 159 359 hm³. Está claro que los recursos hídricos son muy diferentes en estas subregiones hidrológicas del país.

Cuadro 1. Importancia ecológica a escala de subregión hidrológica (SRH)

<i>SRH</i>	<i>Aspectos bióticos</i>	<i>Integridad ecológica</i>	<i>Alteración ecohidrológica</i>	<i>Importancia ecológica</i>
SRH-RSJ	Posee tres cuencas con especies bajo algún estado de protección.	La zona de captación se conserva a pesar de haber presión moderada por el cambio de uso de suelo.	Presencia evidente de infraestructura antropogénica. Régimen moderado a fuertemente alterado.	Alta
SRH-VM	Posee cuatro cuencas con especies bajo algún estado de protección.	La zona de captación está sometida a fuerte presión por el cambio de uso del suelo.	Alta presencia de infraestructura antropogénica. Régimen completamente alterado.	Alta
SRH-BG	Posee tres cuencas con humedales Ramsar y cuatro con sitios prioritarios para la conservación.	La zona de captación se conserva, a pesar de la presión incipiente por el cambio de uso del suelo.	Presencia evidente de infraestructura antropogénica. Régimen de poco a moderadamente alterado.	Muy alta

Fuente: Elaboración propia con base en criterios de la Norma Mexica NMX-AA-159-SC-FI-2012 (2012).

Por otro lado, el volumen total asignado y concesionado para las actividades humanas es también diferente. En la SRH-RSJ el volumen destinado a la actividad humana es de 8 947 hm³; en la SRH-VM este volumen es de 4 670 hm³, superando al de disponibilidad; y en la SRH-BG, el volumen asignado es sólo de 2 125 hm³. A partir de los datos anteriores, ajustados de la información publicada por la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2000), se puede obtener la presión por el uso del agua al que está sometida cada SRH, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Presión por el uso del agua} = \frac{\text{Volumen asignado} + \text{Volumen concesionado}}{\text{Disponibilidad media anual por cuenca}}$$

La presión por el uso del agua se expresa en porcentaje, y el nivel de la presión de uso se establece de acuerdo con los valores que muestra el cuadro 2.

Cuadro 2. Presión por el uso del agua en una cuenca por la Norma mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012

	<i>Muy alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>Baja</i>
<i>Presión de uso</i>	≥ 80%	≥ 40%	≥ 11%	≤ 10

Fuente: Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012).

De acuerdo con los valores específicos para cada subregión, se obtuvieron los datos que se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Determinación del nivel de presión de uso en cada SRH

<i>SRH</i>	<i>Disponibilidad</i>	<i>Volumen asignado+concesionado hectómetros cúbicos</i>	<i>Porcentaje de presión de uso</i>	<i>Nivel de presión</i>
SRH-RSJ	12 833	8 947	70	Alta
SRH-VM	3 537	4 670	132	Muy alta
SRH-BG	159 359	2 125	1	Baja

Fuente: Elaboración propia con base en criterios de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012).

Objetivo ambiental

El objetivo ambiental se refiere al estado ecológico que se pretende alcanzar dentro de la cuenca hidrológica para mantener la integridad de los ecosistemas actuales, o contribuir a su recuperación o rehabilitación cuando se considere que éstos están degradados. Para determinar el objetivo ambiental de una cuenca, se parte de la importancia ecológica y de la presión de los usos del agua. Para las subregiones estudiadas en este trabajo, la importancia ecológica y la presión de uso del agua se presenta en los cuadros 1 y 3 mostrados arriba. La Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 propone unas reglas de decisión (ver cuadro 4) para la asignación de objetivos ambientales.

Cuadro 4. Matriz de decisión para objetivos ambientales

		<i>Presión de uso</i>			
		<i>Baja</i>	<i>Media</i>	<i>Alta</i>	<i>Muy alta</i>
<i>Importancia ecológica</i>	<i>Muy alta</i>	A	A	B	C
	<i>Alta</i>	A	B	C	D
	<i>Media</i>	B	C	C	D
	<i>Baja</i>	B	C	D	D

Nota: El objetivo ambiental A, indica que el estado ecológico que tiene la cuenca es muy bueno por lo que se debería mantener; el objetivo B, indica que el estado ecológico es bueno y que se debería mantener o tratar de mejorar; el objetivo C indica que el estado ecológico es moderado y que se debería mejorar o tratar de mantener; y el objetivo D, indica que el estado de la cuenca es deficiente por lo que se debería tratar de mejorar o, por lo menos, impedir un mayor deterioro.

Fuente: Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012).

Con base en la información anterior, se asignaron los objetivos ambientales para cada subregión, como se indica en el cuadro 5.

Cuadro 5. Objetivo ambiental y estado de conservación de cada SRH

<i>SRH</i>	<i>Importancia ecológica</i>	<i>Presión de uso</i>	<i>Objetivo ambiental</i>	<i>Estado de conservación a mantener o lograr</i>
SRH-RSJ	Alta	Alta	C	Moderado
SRH-VM	Alta	Muy alta	D	Deficiente
SRH-BG	Muy alta	Baja	A	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia con base en criterios de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012).

De esta manera, se asume que las cuencas actualmente presentan estas condiciones de importancia ecológica, presión de uso, objetivo ambiental y estado de conservación a mantener o lograr.

¿Cuánta agua se necesita para el caudal ecológico?

La determinación del objetivo ambiental y el estado de conservación de la cuenca es primordial, dado que es una guía para determinar el volumen de agua (en porcentaje) correspondiente al caudal ecológico, con base en el porcentaje de escurrimiento medio anual (porcentaje EMA). El caudal ecológico recomendado por la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, para un determinado objetivo ambiental, se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Caudal ecológico recomendado por la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012

<i>Estado ecológico</i>	<i>Objetivo ambiental</i>	<i>Caudal ecológico recomendado</i>			
		<i>Estiaje</i>		<i>Avenidas</i>	
		<i>% EMA</i>	<i>% Qmi</i>	<i>% EMA</i>	<i>% Qmi</i>
Muy bueno	A	30	100	60	50
Bueno	B	20	80	40	40
Moderado	C	15	60	30	30
Deficiente	D	5	40	10	20

Fuente: Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012).

La propuesta anterior considera para el cálculo del caudal ecológico el escurrimiento medio anual (EMA) y el caudal medio mensual para cada uno de los meses (Qmi). El valor del caudal ecológico, tanto para el período de estiaje como para el de avenida, debe estar comprendido entre los valores del cálculo del porcentaje EMA (caudal ecológico anual) y el porcentaje Qmi (caudal ecológico mensual). La norma Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 señala que, para los períodos de estiaje y avenida, el valor del caudal ecológico (Qe) nunca debe ser mayor al caudal medio mensual (Qmi) ni menor al caudal base (Qbase), es decir, $Q_{base} < Q_{anual} < Q_{mi}$. Con base en la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, para las tres subregiones evaluadas en este trabajo, el caudal ecológico recomendado quedaría como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Caudal ecológico recomendado para las SRH estudiadas

<i>SRH</i>	<i>Estado ecológico</i>	<i>Objetivo ambiental</i>	<i>Caudal ecológico recomendado</i>			
			<i>Estiaje</i>		<i>Avenidas</i>	
			<i>% EMA</i>	<i>% Qmi</i>	<i>% EMA</i>	<i>% Qmi</i>
SRH-RSJ	Moderado	C	15	60	30	30
SRH-VM	Deficiente	D	5	40	10	20
SRH-BG	Muy bueno	A	30	100	60	50

Fuente: Elaboración propia con bases en criterios de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (2012).

Cálculos realizados para la determinación del régimen de caudal ecológico

La metodología hidrológica de Tennant (1976), modificada por García *et al.* (1999), propuesta en la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, apéndice C, establece que, con base en el uso de valores de referencia, se debe determinar el porcentaje EMA que, se asume, mantendría los atributos biológicos en ciertos niveles de conservación para el objetivo ambiental previamente definido. Para determinar el porcentaje EMA, para cada subregión evaluada, se realizó el siguiente procedimiento.

Se delimitó la subregión hidrológica y se estableció dentro de ella la red de drenaje para definir cuáles estaciones hidrométricas se consultarían para el estudio del caudal. Las estaciones hidrométricas consideradas se muestran en el primer capítulo de este libro: en el mapa 12 y el cuadro 7 de la SRH-VM; en el mapa 14 y en el cuadro 10, de la SRH-BG; en el mapa 5 y en el cuadro 4 de la SRH-RSJ. El propósito era obtener información hidrométrica de los últimos 20 años consecutivos en cada estación; sin embargo, todas ellas tenían datos faltantes, por lo que para llenar los vacíos se tuvieron que realizar interpolaciones. Fue necesario llenar los vacíos para completar la información del período requerido de 20 años, que en este estudio, como se mencionó anteriormente, fue la serie de datos del período 1996-2016. Se organizaron los datos para cada año y de cada estación hidrométrica, y se construyeron hidrogramas para eliminar errores en los datos que pudieran sesgar los resultados de los cálculos. Se obtuvieron para cada mes del año los datos con menor escurrimiento (año seco), así como para el mayor volumen de escurrimiento (año húmedo), mediante las relaciones siguientes:

$$mes_{húmedo} = \text{valor máximo}(mes_{año_1}), (mes_{año_2}), (mes_{año_3}), \dots (mes_{año_n})$$

Con el promedio de cada uno de los meses secos y húmedos, para cada mes, se obtuvo el año medio mensual (Q_{mi}) con la siguiente relación:

$$mes_{húmedo} = \text{valor máximo}(mes_{año_1}), (mes_{año_2}), (mes_{año_3}), \dots (mes_{año_n})$$

El caudal base corresponde al caudal medio mensual mínimo y representa la aportación de agua mínima al área de estudio. Para la determinación de los períodos de estiaje y de avenida dentro de los años secos, medios y húmedos, todos los valores de los caudales medios mensuales (Q_{mi}) que se encuentren por encima del valor del escurrimiento medio anual (EMA), se consideran período de avenida.

A partir de estos datos, se obtuvieron los porcentajes recomendados por la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 para determinar el caudal ambiental para la cuenca de interés. Los resultados obtenidos para cada subregión estudiada se sintetizan en los cuadros elaborados para tal fin, en los que se aprecian, de manera general, las condiciones de la cuenca respecto al caudal ecológico.

El cuadro 8 representa las condiciones generales de la cuenca y el caudal ecológico recomendado para la SRH-RSJ.

Cuadro 8. Determinación del caudal ecológico para la SRH-RSJ

Mes	Q_{mi} (caudal medio mensual)	Caudal mínimo mensual	Q_{annual} 15 % EMA Estiaje	SRH-RSJ: objetivo ambiental C		
				$Q_{mensual}$ 60 % Q_{mi} Estiaje	Q_{annual} 30 % EMA Avenidas	$Q_{mensual}$ 30 % Q_{mi} Avenidas
m^3/s						
Enero	4.90	0.80	1.72	2.94		
Febrero	3.98	0.23	1.72	2.39		
Marzo	2.87	0.03	1.72	1.72		
Abril	3.79	0	1.72	2.27		
Mayo	4.36	0	1.72	2.61		
Junio	8	0	1.72	4.80		
Julio	8.93	0	1.72	5.36		
Agosto	9.30	0.03	1.72	5.58		
Septiembre	47.76	1.65			3.44	14.33
Octubre	26.45	3.87			3.44	7.94
Noviembre	11.74	1.77			3.44	3.52
Diciembre	5.43	0.86	1.72	3.26		
	11.46 EMA	0.77 Qbase	Qbase < Qe < Qmi; por lo tanto, existe un caudal ecológico recomendado, pero muy bajo.			

Fuente: Elaboración propia con base en los datos hidrométricos procesados.

Los caudales bajos, en promedio menores a $4 \text{ m}^3/\text{s}$, en las tres cuartas partes del año, son las características principales de la cuenca del río San Juan. Sólo en un mes, en septiembre, el caudal medio mensual alcanza su mayor nivel ($47.76 \text{ m}^3/\text{seg}$), pero desciende dramáticamente en octubre ($26.45 \text{ m}^3/\text{seg}$), noviembre ($11.74 \text{ m}^3/\text{seg}$) y diciembre ($5.43 \text{ m}^3/\text{seg}$). Bajo estas condiciones, el caudal ecológico recomendado es muy bajo, $1.72 \text{ m}^3/\text{s}$ en el estiaje y $3.44 \text{ m}^3/\text{s}$ en las avenidas. Para lograr que los ecosistemas mantengan el equilibrio actual o alcancen su equilibrio anterior, la recomendación es que, por lo menos, se mantenga este caudal ecológico en los ríos, aunque lo ideal sería incrementar este volumen.

Los bajos niveles del caudal base y la poca presencia de un caudal ecológico indican que, si la presión por el uso del agua continúa incrementándose, los caudales no alcanzarán para que los ecosistemas, aunque en su mayoría son ecosistemas que demandan poca agua, continúen como están ahora y se propiciará una mayor degradación de la cuenca. Además, en un área degradada, en los meses de avenidas, la infiltración tiende a disminuir y los mayores escurrimientos tienden a incrementar la erosión. Los resultados de este análisis sugieren que, si las condiciones de la cuenca continúan como están, ésta conservaría el objetivo ambiental C, que ahora posee; de lo contrario, la cuenca se acercaría a un punto crítico, con el riesgo de

disminuir su objetivo ambiental. El cuadro 9 representa las condiciones generales de la cuenca y el caudal ecológico recomendado para la SRH-VM.

Cuadro 9. Determinación del caudal ecológico para la SRH-VM

Mes	Q_{mi} (caudal medio mensual)	Caudal mínimo mensual	SRH-VM: objetivo ambiental D			
			$Q_{eannual}$ 5 % EMA Estiaje	$Q_{emensual}$ 40 % Q_{mi} Estiaje	$Q_{eannual}$ 10 % EMA Avenidas	$Q_{emensual}$ 20 % Q_{mi} Avenidas
m^3/s						
Enero	8.85	3.24	1.73	3.54		
Febrero	6.16	2.08	1.73	2.46		
Marzo	5.20	1.61	1.73	2.08		
Abril	4.90	1.71	1.73	1.96		
Mayo	5.34	1.14	1.73	2.14		
Junio	32.59	2.22	1.73	13.04		
Julio	83.82	5.08			3.47	16.76
Agosto	69.21	10.84			3.47	13.84
Septiembre	95.43	14.89			3.47	19.09
Octubre	66.74	17.01			3.47	13.35
Noviembre	25.71	7.16	1.73	10.28		
Diciembre	12.03	5.26	1.73	4.81		
	34.67 EMA	6.02 Qbase	Qbase < Qe < Qmi, no se cumple con esta condición. No existe caudal ecológico.			

Fuente: Elaboración propia con base en los datos hidrométricos procesados.

El caudal base (6.02 m³/s) es mayor que el caudal ecológico, tanto en el estiaje (1.73 m³/s) como en las avenidas (3.47 m³/s). Esta condición, de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, indica la ausencia de un caudal ecológico en la SRH-VM. Por otro lado, durante cinco meses el caudal medio mensual (~6 m³/s) es en promedio menor al caudal base, que es considerado bajo. El comportamiento de caudales es muy irregular y no refleja el régimen climático de la cuenca ni las condiciones, de por sí diversas, de la red hidrográfica dentro de ella.

Otros pueden ser los factores que orillan a este comportamiento, tales como la muy alta presión por el uso del agua o la gran infraestructura soportada sobre ella que ha alterado el régimen natural de caudal. Es importante resaltar que, según los resultados de este estudio, la cuenca tiene justo el agua para continuar cumpliendo su objetivo ambiental D; es decir, mantener el estado ecológico deficiente a que esta cuenca ha llegado. Su estado es crítico y está en riesgo de llegar a un nivel de degradación aún mayor y generalizado. El cuadro 10 representa las condiciones generales de la cuenca y el caudal ecológico recomendado para la SRH-BG.

Cuadro 10. Determinación del caudal ecológico para la SRH-BG

Mes	Caudal medio mensual	Caudal mínimo mensual	30 % EMA Estiaje	SRH Bajo Grijalva: objetivo ambiental A		
				Qmensual 100 % Qmi Estiaje	Qannual 60 % EMA Avenidas	Qmensual 50 % Qmi Avenidas
m ³ /s						
Enero	531.85	254.70	355.64	531.85		
Febrero	389.95	177.80	355.64	389.95		
Marzo	342.76	145.70	355.64	342.76		
Abril	340.78	119	355.64	340.78		
Mayo	378.18	115.60	355.64	378.18		
Junio	1 309	237.70			711.28	654.50
Julio	1 978.90	432.10			711.28	989.45
Agosto	1 197.90	418			711.28	598.95
Septiembre	2 651	681.90			711.28	1325.50
Octubre	3 228.50	576.80			711.28	1614.25
Noviembre	1 169.30	443.50	355.64	1169.30		
Diciembre	707.41	282.50	355.64	707.41		
	1 185.46 EMA	323.78 Qbase	Qbase < Qannual < Qmi, excepto marzo y abril. Caudal ecológico alto en proceso de pérdida.			

Fuente: Elaboración propia con base en los datos hidrométricos procesados.

Los caudales medios mensuales son altos. Oscilan entre 340.78 y 3 228.50 m³/s en todo el año; ésta es la característica principal de la SRH-BG. En este trabajo, el caudal recomendado en estiaje es de 355.64 m³/s, y de 711.28 m³/s en avenidas. Sin embargo, en los meses de marzo y abril no podría recomendarse un caudal ecológico por ser menor el caudal medio mensual. Esta situación pone en alerta sobre el incremento de la presión del agua en esta cuenca, o en una valoración del objetivo ambiental más alto del que le correspondería. De cualquier manera, para que los ecosistemas mantengan el equilibrio actual o regresen al equilibrio anterior, la recomendación es que se mantenga este caudal ecológico en los ríos, a reserva de la revisión de si las condiciones ecológicas de la cuenca corresponden a un objetivo ambiental A o si ha disminuido a un objetivo ambiental B.

Conclusiones

El caudal ecológico recomendado para la SRH-RSJ en época de estiaje es de 1.72 m³/s, y de 3.44 m³/s en época de avenidas. Este caudal ecológico es muy bajo, apenas suficiente para mantener el estado ecológico de la cuenca en moderado, pero con riesgo al descenso del objetivo ambiental de C a D. En la SRH-VM no es posible recomendar

ningún caudal ecológico. El estado ecológico de la cuenca, ya de por sí deficiente, difícilmente podrá tener un punto de retorno. El caudal ecológico recomendado para la SRH-BG es alto, tanto en período de avenidas ($711.28 \text{ m}^3/\text{s}$) como de estiaje ($355.64 \text{ m}^3/\text{s}$); sin embargo, en los meses de marzo y abril el valor del caudal ecológico es mayor que el caudal medio mensual. Esta anomalía podría indicar que en la cuenca existe un proceso de disminución del caudal ecológico por el descenso del estado ecológico de la cuenca con la consecuente caída del objetivo ambiental.

El análisis de la cuenca a escala de subregión permitió comprender el significado ecológico de cada componente del régimen hidrológico natural, de manera general, y determinar el caudal ecológico recomendado, de modo que esta información es útil para coadyuvar a las propuestas para la conservación y el restablecimiento a escala de subregión, pero, principalmente, para su gestión. El análisis comparativo de las tres subregiones permitió captar información sobre las particularidades de cada cuenca, así como la comprensión de la problemática entre ellas, de manera que las similitudes y diferencias dan idea del nivel de evolución y su tendencia si se toman o no las acciones correspondientes.

Referencias

- Acreman, M. y Dunbar, M. J. (2004). Defining environmental river flow requirements? A review. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8(5), 861-876.
- Barrios, E., Barajas, N., Rodríguez, A. y González, I. (2007). *Three models for implementation of environmental flows in Mexico*. Paper presented at the 2007 Proceeding on 10th International Riversymposium and Environmental Flows Conference. Brisbane, Australia.
- Bunn, S. E. y Davies, P. M. (2000). Assessing the ecological integrity of running waters. *Springer*, 61-70.
- Cavendish, M. G. y Duncan, M. I. (1986). Use of the instream flow incremental methodology: a tool for negotiation. *Environmental Impact Assessment Review*, 6(4), 347-363.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2000). Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. México: Autor.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). (2010). *Sitios prioritarios acuáticos epicontinentales* [base de datos]. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/spec1mgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xml&_indent=no
- Cotler Ávalos, H. (coord.). (2010). *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México: Semarnat/INE/Fundación Gonzalo Río Arronte.

- García, E., González, R., Martínez, P., Athala, J. y Paz, G. (1999). *Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México*. México: Conagua/IMTA.
- Gómez-Balandra, A., Saldaña-Fabela, P., Gutiérrez-López, E., Lecanda-Terán, C., Izurieta-Dávila, J. y Huerto-Delgadillo, R. (2007). *Water allocation to set environmental flows in México*. [Reporte de congreso] Proceeding of 10th International Riversymposium and Environmental Flows Conference. Brisbane, Australia.
- González, R. y Banderas, A. (2007). *Estudio comparativo de tres metodologías para el manejo y cálculo de caudales ambientales en el río Santiago, Nayarit, México*. México: Congreso Nacional/Reunión Mesoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- Gupta, A. D. (2008). Implication of environmental flows in river basin management. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 33(5), 298-303.
- Martínez-Pérez, C. I. (2018). *Cambio del uso del suelo y su relación con el caudal ecológico* (tesis de licenciatura). Universidad de la Sierra Juárez, México.
- McClain, M. E., Subalusky, A. L., Anderson, E. P., Dessu, S. B., Melesse, A. M., Ndomba, P. M., ... Mligo, C. (2014). Comparing flow regime, channel hydraulics, and biological communities to infer flow-ecology relationships in the Mara River of Kenya and Tanzania. *Hydrological Sciences Journal*, 59(3-4), 801-819.
- Millhous, R. T., Updike, M. A. y Schneider, D. M. (1989). Physical habitat simulation system reference: version II, *Biology Report*, 89(16).
- Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 20 de septiembre de 2012. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/10/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>
- Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 17 de abril de 2002. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/06/NOM-011-CNA-2000.pdf>
- Ordóñez, B., Navarro, J. S., Rodríguez, R. S., Pineda, S. A. R., Mora, J. G., Almaraz, I. G., Quiñones, R. E. y González, H. R. (2011). *Guía para la determinación de caudal ecológico en México*. México: WWF/Fundación Gonzalo Río Arronte I. A. P.
- Poff, N. L. y Zimmerman, J. K. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature reviews to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55(1), 194-205.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1977). *Manual de conservación del suelo y del agua*. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados.

- Shaeri, K., S., Yasi, M. y Eslamian, S. (2012). Use of hydrological methods for assessment of environmental flow in a river reach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 549-558.
- Tennant, D. L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4), 6-10.
- Tharme, R. E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19(5-6), 397-441.
- Tsai, W. P., Chang, F. J. y Herricks, E. E. (2016). Exploring the ecological response of fish to flow regime by soft computing techniques. *Ecological Engineering*, 87, 9-19.
- Yang, T., Liu, J., Chen, Q., Zhang, J. y Yang, Y. (2014). Environmental flow assessment for improvement of ecological integrity in the Haihe River Basin, China. *Ecotoxicology*, 23(4), 506-517.
- Yin, X., Yang, Z. y Petts, G. (2015). A new method to assess the flow regime alterations in riverine ecosystems. *River Research and Applications*, 31(4), 497-504.
- Zhang, H., Singh, V. P., Zhang, Q., Gu, L. y Sun, W. (2016). Variation in ecological flow regimes and their response to dams in the upper Yellow River basin. *Environmental Earth Sciences*, 75(11).

Posibilidades de implementación del enfoque GIRH
en las subregiones hidrológicas de estudio

LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO
DE GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
EN LAS SUBREGIONES DE ESTUDIO
Y SUS RETOS EN MATERIA INSTITUCIONAL Y LEGAL

Fabiola S. Sosa-Rodríguez / José Luis Castro Ruíz / Esthela I. Sotelo Núñez

Introducción

La gestión del agua se ha convertido en uno de los principales retos a escala mundial. Resultado de malas prácticas de gestión, los recursos hídricos han visto reducida su disponibilidad y calidad en un contexto de creciente incertidumbre dada la variabilidad climática, la mayor demanda de agua y su contaminación. Para hacer frente a estas problemáticas, y desde su aparición en el seno de las Naciones Unidas (ONU), hace poco más de seis décadas, organismos internacionales, como la Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés), el Instituto Internacional de Manejo del Agua (IWMI, por sus siglas en inglés) y la Unesco han promovido la implementación de un modelo normativo de gestión del agua conocido como gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH).

Este modelo de gestión ha adquirido popularidad mundial (Biswas, 2005; Gallego-Ayala, 2013; Rahaman y Varis, 2005) con base en su propuesta de una administración coordinada de los recursos agua, suelo, bosque y biodiversidad para maximizar el bienestar de los ecosistemas, la población y sus actividades económicas a escala de cuenca o subcuenca (GWP, 2008), al tener en cuenta las interacciones dinámicas entre los componentes bióticos, sociales, económicos y políticos en el proceso de toma de decisiones.

Los principios de este modelo apelan a valores como la equidad, la sustentabilidad, la transparencia y la planeación integral como centro de la gestión hídrica. Sin embargo, los alcances de la GIRH estarán definidos y condicionados por el entorno de implementación en el que se inserte. Este entorno abarca las posibilidades de acción que ofrezca el marco legal vigente, la capacidad institucional de los gobiernos, las formas de involucramiento de diferentes actores, públicos y privados, a escalas distintas, así como los mecanismos de regulación pública existentes

(GWP, 2008; Kundell y Hatcher, 1985). Estos constreñimientos hacen que la implementación de la GIRH no sea una tarea sencilla; en la actualidad, no existen lineamientos claros para llevar a cabo de manera operativa este modelo de gestión que garanticen la participación activa de los sectores involucrados (Biswas, 2005).

Los retos en la aplicación de este modelo normativo tienen que ver también con el hecho de que, alrededor del mundo, diferentes sistemas de administración del agua tienen como norma una gestión hídrica estructurada por nivel de gobierno y por sectores, pero desarticulada y fragmentada en términos hidrológicos. En este sentido, las atribuciones de las distintas agencias involucradas con la gerencia del agua en un territorio permiten sólo una respuesta fragmentada en la dirección de los componentes del sistema físico del agua, que involucran la cantidad y la calidad de ésta, tanto superficial como subterránea (Kundell y Hatcher, 1985).

Así mismo, las prioridades y las estrategias de la GIRH varían mucho entre países, regiones y cuencas, pero el modelo no ha logrado resolver cómo hacer frente a la falta de correspondencia entre su delimitación espacial (Biswas, 2008). En este sentido, es necesario desarrollar marcos prácticos que guíen los ajustes institucionales y legales del modelo de GIRH y garanticen una participación efectiva de los diversos grupos de interés: estos marcos deben incorporar estrategias en la toma de decisiones para hacer frente a la incertidumbre, además de garantizar el uso sustentable del agua.

En este capítulo se analizan los retos que enfrentan las subregiones hidrológicas –identificadas y caracterizadas en el primer capítulo de este libro– para la implementación del modelo de GIRH, teniendo en cuenta las características de su desarrollo económico y las ambientales, así como los requerimientos de infraestructura para atender las demandas de agua de los diferentes sectores, manteniendo al mismo tiempo el equilibrio hídrico de estas zonas. También se evalúa si los arreglos normativos, tanto federales como estatales, ofrecen condiciones institucionales que posibiliten la implementación exitosa de la GIRH en las subregiones hidrológicas y cuencas. En el cuadro I del primer capítulo de este libro, «Características generales de las subregiones de estudio», se mencionan las regiones hidrológico-administrativas (RHA) a las que pertenecen las subregiones de estudio.

La Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ) corresponde a la Región VI, la Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG) se localiza en la Región X y la Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM) pertenece a la Región XIII. Las RHA son el ámbito de competencia de los llamados organismos de cuenca (OC), a través de los cuales se ejecuta la gestión del agua en nuestro país. Dentro de estos organismos, existen órganos colegiados que aglutinan a los representantes de los distintos usos y usuarios, y son las instancias de decisión en materia de distribución del agua en las subregiones y cuencas. Por este motivo, el análisis de su conformación es parte también del presente capítulo. Los avances y los retos operativos en la implementación de la GIRH en México se abordarán en el noveno de este libro.

Retos de la GIRH en las subregiones hidrológicas estudiadas

Como un enfoque de política pública, la GIRH enfrenta en México diferentes retos para su cabal implementación. Uno de ellos es la diversidad de los contextos regionales del país: mientras que el norte sufre períodos de sequías prolongadas y los sistemas hídricos del centro de México presentan una hiperconcentración demográfica y económica, el sur-sureste se caracteriza por tener intensas precipitaciones y elevada contaminación en sus recursos hídricos. A pesar de estos contrastes regionales, existen retos comunes. Por ejemplo, la SRH-RSJ y la SRH-VM enfrentan altos grados de presión hídrica, ya que el agua empleada en los usos consuntivos supera 40 por ciento del total del agua renovable en la región. El Valle de México es el caso más crítico, pues el agua renovable alcanza dos terceras partes del volumen del agua concesionada, situación que ha incrementado su dependencia a fuentes de agua cada vez más distantes, además de incurrir en la sobreexplotación de cuatro de sus siete acuíferos, según la delimitación oficial. En términos de la calidad del agua, una proporción importante de sus fuentes superficiales y subterráneas no cumple con las normas vigentes (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2014a).

Los procesos de cambio de uso de suelo, así como la deforestación y la pérdida de suelos en las partes altas,¹ son así mismo problemas que se replican en las tres subregiones. Estos problemas están asociados con la expansión de la frontera agropecuaria (en particular para la SRH-BG) y con el patrón de crecimiento urbano, expansivo y periférico, que suele privilegiarse en ciudades como Monterrey, Ciudad de México o Villahermosa. Con el crecimiento urbano no sólo se agudiza la demanda de bienes y servicios, incluidos el suministro de agua y la disposición de las aguas residuales, sino también el deterioro de la calidad del agua y sus ecosistemas asociados.

Por consiguiente, las subregiones estudiadas presentan problemas de contaminación del agua debido a las descargas domésticas e industriales (Ramírez Lara, 2004). Estos retos comunes se complementan con problemáticas regionales específicas relacionadas con sus condiciones naturales y climáticas, así como con las características socioeconómicas de cada subregión. Los problemas socioambientales y las actividades económicas predominantes en estas zonas constituyen temas prioritarios para la gestión integral del agua, cuya solución en parte se ha tratado de atender por medio de la construcción de infraestructura.

Para la SRH-VM y la SRH-RSJ la infraestructura existente no ha sido suficiente; los grandes proyectos para el almacenamiento y la conducción del agua en bloque son parte de una búsqueda continua de nuevas fuentes de agua cada vez más

¹ Procesos que derivan en una menor infiltración del agua pluvial y mayores escurrimientos hacia las partes bajas de las cuencas.

distantes. La potabilización y el tratamiento de aguas residuales presentan una situación similar, una eficiencia operativa baja en contraste con su capacidad instalada. En el caso del reducido tratamiento de aguas residuales, éste exacerba las condiciones de contaminación de los recursos hídricos (Conagua, 2015 y 2016). Así mismo, falta desarrollar e implementar programas de mantenimiento y para la construcción de nueva infraestructura que ayude a resolver las problemáticas actuales. A continuación, se destacan algunos de los retos particulares que enfrenta cada subregión hidrológica.

Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM)

El predominio económico y poblacional de esta subregión² ha favorecido el crecimiento acelerado de asentamientos humanos en las zonas lacustres.³ En la actualidad, prácticamente todos los ríos se encuentran entubados, se les ha convertido en canales receptores de aguas residuales, y la urbanización en suelos poco aptos ha incrementado los hundimientos diferenciales e inundaciones en esta subregión (Sosa-Rodríguez, 2010a y 2010b).

La extracción intensiva de aguas subterráneas y trasvases han alterado las condiciones hidrológicas en la zona, con afectaciones que se extienden más allá de sus límites político-administrativos. La extracción de agua comenzó alrededor de 1847, proveyendo suficiente agua para abastecer la Ciudad de México durante más de un siglo. Sin embargo, a mediados de la década de 1960, el abastecimiento comenzó a depender también del trasvase de agua desde cuencas lejanas, primero desde Lerma y después desde Cutzamala. Actualmente, dos terceras partes del agua que consume la ciudad se obtienen de fuentes subterráneas dentro de la cuenca y una tercera parte proviene de fuentes externas (Ezcurra y Mazari, 1996; Sotelo, 2018).

El esquema de aprovisionamiento fundamentalmente extractivo de esta subregión ha traído consigo elevados costos socioambientales y económicos, por el bombeo y transporte del agua, así como por la mayor ocurrencia de conflictos sociales y descontento en los pobladores de las cuencas proveedoras de agua a la ciudad. Para completar el cuadro, el agua residual producida por la Ciudad de México es expulsada fuera de los límites territoriales de la cuenca, hacia el valle del Mezquital, exportando con ello externalidades negativas hacia las poblaciones aledañas (Bello, 2016; Watts, 2015).⁴

² En la actualidad, la SRH-VM concentra alrededor de 19 % de la población total nacional en una extensión territorial menor a 1 % (ver el primer capítulo de este libro).

³ La actividad económica generaba poco más de 25 % del total del PIB en 2016 (ver el primer capítulo de este capítulo), lo cual pone en evidencia la relevancia económica de esta región, además de explicar los elevados requerimientos de agua para satisfacer las demandas económicas y demográficas.

⁴ A pesar de todo el esfuerzo técnico y financiero, y de los costos sociales y ambientales asociados

Tanto la importación de agua de cuencas lejanas, como las externalidades negativas que genera el desalojo de altos volúmenes de agua residual hacia territorios vecinos, constituyen un modelo de gestión hídrica contradictorio con los principios de equidad y sustentabilidad que se encuentran en el corazón del modelo de GIRH. En cuanto a las actividades socioeconómicas, la SRH-VM tiene un marcado perfil terciario (48.6 % del PIB total), seguido de las manufacturas (19.2 %) y el comercio (14.5 %) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2014). Aunque el consumo doméstico es el principal usuario del agua en esta región, todos los sectores compiten entre sí para garantizar un suministro de agua suficiente.

La SRH-VM enfrenta importantes retos técnicos para la dotación de infraestructura hídrica que garantice el acceso al agua para el consumo humano y las actividades económicas. Aunque cuenta con altos niveles de infraestructura en comparación con el contexto nacional, su propia complejidad territorial y administrativa ha provocado que dicha infraestructura trabaje por arriba de sus capacidades. Esto se refleja en las coberturas de agua potable y drenaje que, a pesar de estar entre las más altas del país, tienen rezagos que se ponen en evidencia con el suministro intermitente y la falta de acceso al agua.

En relación con su infraestructura de almacenamiento, cuenta comparativamente con una baja capacidad instalada, basada en un sistema de presas construidas desde las décadas de 1940 y 1950, que presenta problemas de azolve. Al igual que la infraestructura de almacenamiento, la de potabilización opera en condiciones de baja eficiencia (Conagua, 2016). En el caso de la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales, ésta se encuentra mayoritariamente a cargo de una red de plantas municipales e industriales que representa 22 por ciento del total de las plantas a escala nacional: el componente municipal presenta serios rezagos, ya que solamente trata 16 por ciento del caudal generado, lo cual, hasta hace unos años, fue una de las causas principales de contaminación del agua en la zona (Conagua, 2014b).

A partir de 2007 se impulsó el fortalecimiento de esta infraestructura con la construcción de nuevas plantas de diferentes capacidades: Guadalupe (0.5 m³/s), Berriozábal (2 m³/s), El Cristo (4 m³/s), Zumpango (4 m³/s), Nextlalpan (9 m³/s) y Atotonilco, con una capacidad nominal de tratamiento medio de 35 m³/s y un máximo de 50 m³/s. Esta última, con capacidad de tratar «hasta 60 % del agua

con este esquema, el acceso al agua en la Ciudad de México es bastante desigual. Mientras que en las alcaldías situadas al poniente de la ciudad, como Miguel Hidalgo y Cuajimalpa, la presión del agua es de 14 kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²), en Iztapalapa, al oriente, la presión de las tuberías alcanza apenas 500 g/cm². Una de las explicaciones de tal desigualdad es que aproximadamente 40 % del agua que llega a la ciudad por trasvase, se pierde en fugas. Esta zona enfrenta además el problema de que el agua que se extrae del subsuelo por medio de pozos registra cantidades considerables de contaminantes químicos —magnesio, nitrógeno, sodio, hierro y gas sulfúrico—, lo que eleva los costos de su purificación (Watts, 2015).

residual generada en la ciudad de México» (Bello, 2016, p. 4). A pesar de que el reúso de aguas residuales es central en la GIRH, a menudo el incumplimiento de las normas oficiales mexicanas restringe su utilización en el riego agrícola en los valles del Mezquital y de Tula.

Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

Tradicionalmente, los estados del norte de México cuentan con altos niveles de desarrollo y cobertura de servicios públicos. La SRH-RSJ no es la excepción, al presentar una fuerte economía orientada a los sectores terciario, manufacturero y de la construcción, principalmente en las áreas metropolitanas de Monterrey y Saltillo, mismas que concentran 92 por ciento de la población total del estado. El papel de esta subregión ha sido central en el desarrollo económico de Nuevo León y Coahuila. Aunque el uso agrícola del agua es el predominante en la región, de manera similar a su distribución a escala nacional,⁵ el uso doméstico se ha establecido como prioritario en los marcos legales (Conagua, 2018).

Sin embargo, esta subregión se ve frecuentemente afectada por sequías erráticas y prolongadas (Conagua, 2014c), cuyos efectos se reflejan en la disminución de los caudales del río San Juan en diferentes épocas del año,⁶ lo cual afecta bastante los ecosistemas acuáticos (Návar Cháidez, 2010). Esta región también se ve afectada por la sobreexplotación de los acuíferos para satisfacer la demanda doméstica. Se destacan los casos de los acuíferos Saltillo-Ramos Arizpe, Región Manzanera-Zapalinamé y General Cepeda-Sauceda, que abastecen el área metropolitana de Saltillo (AMS). Además, el acuífero Bajo Río Bravo enfrenta problemas de salinización de suelos y aguas salobres (Conagua, 2016).

La SRH-RSJ cuenta con una elevada cobertura de los servicios de agua y drenaje, pero debido a la expansión de las zonas metropolitanas hacia sus periferias, hay una constante presión para incrementar su dotación, que no puede satisfacerse adecuadamente por los problemas de ineficiencia física de las redes (Aguilar y Monforte, 2018). Esta región cuenta con una buena infraestructura de almacenamiento y conducción de agua en bloque que comprende presas, represas y depósitos de menor capacidad, así como un sistema de acueductos construidos en la década de 1940.

Mientras que el AMS atiende sus requerimientos de agua por medio de fuentes subterráneas, el área metropolitana de Monterrey (AMM) se ha centrado en identificar fuentes externas para satisfacer sus necesidades de agua, mismas que

⁵ El uso agrícola combinado, en Nuevo León y Coahuila, representa 75 % del total extraído, seguido del público-urbano con 19 %, la industria abastecida, con 4 % y la energía eléctrica, excluyendo hidroelectricidad, con 2 % (Conagua, 2018).

⁶ Para obtener una descripción detallada del sistema del río San Juan, ver el primer capítulo de este libro.

complementa con aguas subterráneas. La mayor capacidad instalada de potabilización se concentra en el AMM, pero presenta una baja eficiencia (39 %) en comparación con el resto de la SRH-RSJ. En el caso del tratamiento de aguas residuales, aunque sus niveles de eficiencia son mayores (78 %), requiere monitorear su calidad, ya que más de 50 por ciento del caudal tratado se devuelve a los ríos, arroyos y drenes (Conagua, 2014b y 2014c).

Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)

El manejo del agua en la SRH-BG tiene como ejes el control de avenidas, la generación de energía hidroeléctrica y la explotación de yacimientos petroleros. Las actividades económicas industriales, agrícolas, petroleras y de producción de energía hidroeléctrica, acompañadas del proceso de urbanización de la planicie, generaron la necesidad de controlar las inundaciones, desecar zonas pantanosas y contar con mecanismos de almacenamiento de agua, dando como resultado un complejo sistema de presas que provocaron el elevado nivel de fragmentación de los ríos de la zona (ver el primer capítulo de este libro).

La alteración del sistema hídrico también se atribuye a las políticas de desmonte de selvas tropicales para la instalación de plantaciones comerciales⁷ y ganadería en las partes altas (Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos, 2010; Toledo, 2011).⁸ Económicamente, esta zona es estratégica para la producción de recursos energéticos: en la planicie del Bajo Grijalva, la actividad económica preponderante es la industria petroquímica, que produce 25 por ciento del PIB y más de 80 por ciento del petróleo y gas natural de la región.

En cuanto a las actividades agrícolas y pecuarias, se registran 704 hectáreas organizadas como unidades de riego (UR) y el distrito de temporal tecnificado 001 La Sierra (Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos, 2010; Carrillo, Villavicencio y Gutiérrez, 2009). Otro rasgo particular de la subregión es el riesgo climático que enfrenta, en combinación con las condiciones socioeconómicas de marginación, rezago y desigualdad económica. En esta subregión se hallan los municipios con mayor marginación de la población indígena. El cambio climático podría implicar retos importantes al desarrollo, por lo que se requieren nuevos instrumentos de gestión del agua vinculados al territorio (Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos, 2010).

⁷ Básicamente, monocultivos de plátano, caña de azúcar, cacao y coco en las partes altas. En las partes bajas, destacan los cítricos, el café y las hortalizas.

⁸ En la década de 1940, Chiapas tenía una superficie ganadera de 16 %; a finales de la década de 1980, ésta superaba 60 % del territorio. En el caso de Tabasco, la cobertura vegetal de selvas bajas ocupaba 48 % del territorio en la década de 1950; tres décadas más tarde se redujo a 9 % (Toledo, 2011).

La asignación del agua prioriza los usos público-urbano e industrial (40 % y 28 %, respectivamente), actividades que se concentran en la planicie y demandan mayor infraestructura (Conagua, 2012), por lo que los municipios urbanos de Villahermosa presentan elevadas coberturas de agua potable y drenaje, superiores a sus contrapartes en el estado de Tabasco.⁹ Para atender estos requerimientos, la subregión cuenta con un complejo sistema de presas y embalses, así como con una red de 51 plantas potabilizadoras, que operan con una eficiencia de 62 por ciento, y una red de 30 plantas de tratamiento cuya eficiencia asciende a 83 por ciento ambos niveles de eficiencia son superiores a las otras subregiones estudiadas (Conagua, 2014b). El tratamiento de las aguas residuales es particularmente importante considerando que las descargas de la ciudad de Villahermosa y los complejos La Venta y Cactus pueden comprometer la calidad del agua de algunos ríos de la región.

Las actividades económicas de las subregiones son relevantes para el crecimiento económico estatal y nacional. En los tres casos analizados, las actividades económicas, la concentración poblacional y su vulnerabilidad a fenómenos extremos han detonado el desarrollo de complejos sistemas de infraestructura hidráulica. Desafortunadamente, los niveles de eficiencia de esta infraestructura y la falta de mantenimiento de la misma, junto al crecimiento demográfico y económico, han sido clave para que los principales problemas del agua no se hayan atendido a cabalidad. Aunado a ello, la falta de vinculación de la gestión del agua con la gestión territorial, así como la falta de consideración de los ecosistemas y sus requerimientos de agua para conservación y provisión de servicios ecosistémicos, ponen en riesgo la disponibilidad y la calidad de las fuentes de agua disponibles.

El marco legislativo de la gestión del agua en México

La gestión del agua en México se deriva del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM, 1917), en el que se establece que todas las aguas superficiales (ríos, afluentes, corrientes intermitentes, lagos, esteros y aguas marinas interiores) son propiedad de la nación, y que su acceso es un derecho fundamental para los mexicanos (CPEUM, 1917, art. 1). Entre las leyes que emanan de este artículo constitucional destaca la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 1992), en cuyo decreto de reforma de 2004, reconoce la GIRH como el modelo de gestión a partir del cual se administrarán las aguas nacionales. Esta ley tiene mayor jerarquía que las leyes federales ordinarias¹⁰ y que las leyes estatales de agua potable y alcantarillado.

⁹ En los municipios metropolitanos las coberturas de agua potable y drenaje son, para el municipio de Centro de 98.6 y 98.9 %, respectivamente, y para Nacajuca de 97.1 y 97.9 %, respectivamente. La cobertura total de agua potable en Tabasco asciende a 90 % y 97 % (Inegi, 2015).

¹⁰ Como es el caso de las leyes de salud, de equilibrio ecológico y protección al ambiente, de navegación y comercio marítimos, de pesca, entre otras.

Cabe destacar que la LAN otorga a la sociedad un papel preponderante, junto con las instituciones gubernamentales para la regulación, el uso y el aprovechamiento del agua, así como para el control, el manejo del agua y la preservación de los recursos hídricos (CPEUM, 1917, art. 3-XXVIII). Pero ¿qué implica realizar una GIRH? La GWP (2008) establece diez principios que debe cumplir la gestión del agua para considerar que ésta se realiza de manera integral. Estos principios se sistematizaron en cuatro criterios a partir de los cuales se analizó si el marco normativo a nivel federal logró incorporarlos en sus disposiciones.

Así mismo, se evaluó si dichas disposiciones lograron traducirse a los marcos regulatorios estatales para las SRH estudiadas. El primer criterio explora si existe una gestión integral del agua con visión de cuencas y acuíferos. Este criterio toma en cuenta el reconocimiento de que el agua es un recurso escaso e indispensable para la vida y los procesos productivos (principio uno), cuya gestión está basada en el ciclo hidrológico (principio dos) y en las cuencas hidrológicas y los acuíferos (principio cuatro), y cuya planificación es resultado de acciones estructurales y no estructurales (principio diez).

El segundo criterio se refiere a incluir en la toma de decisiones aspectos relacionados con la disponibilidad del agua y la priorización de usos. Este criterio considera los principios de la variabilidad en la disponibilidad del agua en el tiempo y el espacio para satisfacer las necesidades mínimas de la población y los ecosistemas, teniendo en cuenta que la escasez o abundancia de agua pueden ser factores de riesgo (principio ocho), por lo que se requiere definir sus prioridades de uso (principio cinco). El tercer criterio de análisis se refiere a la gestión ambiental y territorial, y comprende la necesidad de vincular la gestión y uso del territorio con el agua (principio siete). Finalmente, el cuarto criterio se refiere a los principios de coordinación, corresponsabilidad y gobernanza, el cual reconoce la necesidad de manejar de manera coordinada los recursos hídricos compartidos (principio seis), además de favorecer la descentralización de la gestión del agua basada en la coordinación y colaboración entre actores involucrados (principio nueve).¹¹

A escala federal, hay un reconocimiento sobre la relevancia de gestionar los recursos hídricos del país con un enfoque de gestión integral con visión de cuencas. Se han sentado las bases jurídicas para que este modelo se lleve a la práctica, reconociéndose la cuenca como la unidad de gestión para realizar una adecuada administración de las aguas superficiales, así como el modelo de GIRH como la forma más adecuada de administrar, proteger, restaurar y conservar las cuencas hidrológicas y sus cuerpos de aguas (CPEUM, 2017, art. 7-I, II). Sin embargo no se

¹¹ En el cuadro 1 del anexo 1 se explican los principios que rigen la GIRH y los criterios de aplicación utilizados para analizar la pertinencia del marco normativo a escala federal y estatal en las subregiones analizadas.

extiende a la figura de los acuíferos, pues la LAN sólo considera marginalmente la dinámica ambiental del agua subterránea, a pesar de la alta dependencia que las ciudades y las actividades económicas tienen del agua del subsuelo (Cubas, Llano y Rosenzweig, 2017; Hatch-Kuri, 2017).

Por otro lado, se considera un asunto de interés nacional el control de la extracción, explotación y uso o aprovechamiento de las aguas superficiales y del subsuelo (CPEUM, 2017, art. 7-bis, IV, VII), y la ley también hace notar la importancia de tener en cuenta las diferentes fases del ciclo hidrológico en la edificación y mantenimiento de las obras de infraestructura hidráulica (CPEUM, 2017, art. 96-bis 2). La normatividad federal también tiene en cuenta en la toma de decisiones la naturaleza variable del agua, a fin de prevenir los impactos negativos ante la ocurrencia de inundaciones y sequías (CPEUM, 2017, art. 96-bis 2), además de reconocer que el uso prioritario es garantizar el suministro de agua para el consumo humano. Existe, en la normativa, una vinculación entre la gestión territorial y la ambiental, y es la Conagua la responsable de vigilar que los concesionarios cumplan con sus obligaciones para prevenir la contaminación de las aguas concesionadas y sancionar a quienes afecten la calidad de los cuerpos de agua (CPEUM, 2017, art. 29-XIV), vinculando la gestión del agua con la planificación del territorio.

El marco normativo federal detalla con precisión los diferentes arreglos legales orientados a promover la coordinación, la corresponsabilidad y la gobernanza. Por ejemplo, el Ejecutivo Federal delega la administración del agua a la Conagua, que es la autoridad técnica (CPEUM, 2017, art. 6-III). La autoridad operativa reside en los organismos de cuencas con apoyo de los Consejos de Cuenca. En particular, los Consejos de Cuenca serán responsables de promover la participación de los usuarios en la administración de las obras y servicios hidráulicos (CPEUM, 2017, art. 5), reconociendo el marco normativo en el que se informa que la GIRH requiere la acción conjunta de los organismos de gobierno y de los usuarios del agua mediante la participación eficaz de toda la sociedad.

Es importante destacar que uno de los grandes retos que enfrenta la GIRH es que los principios de este modelo de gestión sean efectivamente traducidos e incorporados a la legislación estatal. Como se evidenciará en la siguiente sección de este capítulo, los principios de la GIRH se cumplen parcialmente en los marcos normativos estatales en las subregiones estudiadas, lo cual pone en evidencia la necesidad de armonizar las disposiciones legales en materia de agua.

Marco normativo de la Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM)

El marco normativo en materia de agua aplicable a la SRH-VM está conformado por las disposiciones de cuatro entidades federativas que conforman la subregión.¹² Estos arreglos normativos se ven traducidos en diferentes formas de gestión, lo cual ha obstaculizado la correcta implementación del modelo de GIRH. En relación con la gestión integral del agua con una visión de cuencas, en la SRH-VM se reconoce que el agua es un recurso vital y escaso, cuya gestión es una responsabilidad compartida entre el Estado y la sociedad (LADF, 2003, art. 6-I; LEAAEH, 1990, art. 3-IX bis; LAEM, 1999, art. 11-I; LAET, 2001, art. 9-IX).

Excepto en el estado de Hidalgo, se considera de interés público realizar la gestión integral del agua con visión de cuenca (LADF, 2003, art. 15, art. 23-VII; LAET, 2001, art. 1), siendo la cuenca la unidad más adecuada para la formulación de la política hídrica estatal LAEM, 1999, art. 46-I; LAET, 2001, arts. 13 y 15-XV). Esta parte explica el desinterés del estado de Hidalgo en tratar todas las aguas residuales que se vierten en su territorio, provenientes de la Ciudad de México y del Estado de México. Tampoco se define con claridad cuál es la entidad responsable de salvaguardar las cuencas del agotamiento y degradación, excepto en la Ciudad de México, donde esta función se delega a la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (LADF, 2003, art. 23-VII y 123-IV), sin que exista una vinculación con las instancias responsables de la gestión del agua. Esto pone en evidencia la falta de colaboración y coordinación institucional.

En relación con el criterio de disponibilidad del agua y priorización de usos, excepto la Ciudad de México (LADF, 2003, art. 23-VI), no se hace mención de la naturaleza variable del agua, aunque sí se precisan mecanismos para enfrentar situaciones de contingencia ante la escasez, la abundancia y la contaminación del agua, siendo prioritario informar a los usuarios sobre estas problemáticas e identificar las alternativas para el abastecimiento (LADF, 2003, art. 55, 61-I; LEAAEH, 1990, art. LAEM, 1990, art. 90; LAET, 2001, art. 87 y 88). Aunque se definen las prioridades de asignación del agua, garantizar los requerimientos de los ecosistemas para su conservación no es una prioridad. Se privilegia el consumo doméstico, seguido por el industrial y los servicios, lo cual guarda relación con las características de desarrollo económico de las subregiones. Por ello, en el estado de Hidalgo el uso agrícola es prioritario sobre el industrial (LADF, 2003, art. 6-VI; LEAAEH, 1990, art. 22; LAEM, 1990, art. 70-I, VI).

¹² Ley de Aguas del Distrito Federal (LADF, 2003) y su reglamento (RLADF, 1990); Ley de Aguas del Estado de México (LAEM, 1999) y su reglamento (RLAEM, 2014); Ley Estatal de Agua y Alcantarillado del Estado de Hidalgo (LEAAEH, 1990) y su reglamento (RLEAAEH, 2000) y Ley de Aguas del Estado de Tlaxcala (LAET, 2001) y su reglamento (RLAET, 2014).

En lo que se refiere al criterio de integración de la gestión del agua con la del territorio, excepto el estado de Hidalgo, las disposiciones normativas en materia de gestión del territorio observan el manejo coordinado del desarrollo territorial con la gestión del agua mediante los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano, así como mediante la aprobación de decretos para establecer o suprimir las zonas de veda y las zonas de protección (LADF, 2003, art. 20-I; LAEM, 1990, art. 15; LAET, art. 127-III), en aras de contribuir a la preservación, el rescate, la rehabilitación y la ampliación del suelo de conservación, así como prevenir o reducir la sobreexplotación (LADF, 2003, art. 123-III; LAEM, 1990, art. 15), ya sea prohibiendo o limitando los usos del agua o negando los permisos de descargas o revocándolos.

En lo que refiere al criterio de coordinación, corresponsabilidad y gobernanza, en el marco normativo se precisan los recursos hídricos que se encuentran bajo jurisdicción estatal y los que corresponden a la jurisdicción federal. Estas disposiciones autorizan a los gobiernos estatales para celebrar convenios de coordinación para la gestión compartida del agua con el gobierno federal, los gobiernos estatales o municipales (LADF, 2003, art. 129-IV; LEAAEH, 1990, art. 1, LAEM, 1999, art. 7-I; LAET, 2001, art. 126).

Respecto a promover la participación de los diferentes actores, se reconoce la relevancia de la descentralización por medio de la coordinación entre los municipios, los gobiernos estatales y la federación, siendo una responsabilidad de los gobiernos estatales crear las condiciones para promover la participación de los sectores privado y social en la elaboración, ejecución, evaluación y modificación de los programas en materia de agua (LADF, 2003, art. 131-III; RLAEM, 2014, art. 18-V, VI; LEAAEH, 1990, RLEAAEH, 2000, art. 2, 15; LAET, art. 14-III), así como en la conservación, el rescate y la rehabilitación de los ecosistemas. La implementación y la definición de estos mecanismos no se precisan, dado que corresponden al ámbito de la planeación. Destaca el caso de la Ciudad de México, donde se reconoce que los acuerdos establecidos en el Consejo de Cuenca son la guía para definir los lineamientos y las estrategias de gestión compartida del agua (LADF, 2003, art. 23-VII).

En general, la Ciudad de México, el Estado de México y Tlaxcala han logrado incorporar en su marco normativo los principios de la GIRH, al reconocer que la cuenca es la unidad de gestión estratégica y que dicho modelo es el marco rector de la política de gestión del agua. El marco normativo de la Ciudad de México es el que más ha avanzado en incorporar los principios de la GIRH; por el contrario, la legislación en el estado de Hidalgo no reconoce la GIRH como modelo de gestión.

Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

El marco normativo que rige la gestión del agua en la SRH-RSJ tiene como base los principios que guían la política hídrica nacional, tanto a nivel constitucional como reglamentario, y lo constituyen las leyes de aguas de las entidades participantes.¹³ Si bien este marco no define explícitamente los principios y los valores que integran la GIRH, su estructura operativa interpreta diferentes puntos de la misma a partir de la definición de acciones específicas de política hídrica en las jurisdicciones correspondientes. Una característica sobresaliente de este conjunto de leyes es la importancia que otorga a la distribución de responsabilidades en torno a la operación y planeación de los servicios.¹⁴

Una de las premisas funcionales de la GIRH es la capacidad para llevar a cabo una gestión integrada del agua con visión de cuencas. En este sentido, el marco legal analizado no identifica ni aporta información sobre la cuenca como la unidad contextual donde tienen lugar los diferentes lineamientos y acciones planteados en sus contenidos. Los marcos normativos de Nuevo León y de Tamaulipas (LAP-SENL, 1997, art. 6-IX; LAETAM, 2006, art. 5-XXXVI) establecen escuetamente el compromiso de las instancias estatales de participar en los Consejos de Cuenca correspondientes como parte de sus responsabilidades, lo cual en términos del contenido de dichos marcos no permite sacar conclusiones sobre una integración de la visión de cuenca en los preceptos de los mismos. En relación con la naturaleza integral de la GIRH, el marco legal de Tamaulipas es el único que establece esta característica como parte de la programación hídrica estatal, al tiempo que reconoce las particularidades del recurso y su valor social, económico y ambiental (LAETAM, 2006, art. 66-1).

La disponibilidad del agua y priorización de usos es otro principio que sustenta a la GIRH. En el caso de esta subregión, sus marcos normativos priorizan específicamente el uso doméstico sobre los demás, enfocados en la prestación de los servicios de agua potable, seguido del uso industrial y los servicios (LAMEC, 2009, art. 5; LAP-SENL, 1997, art. 22; LAETAM, 2006, art. 104). Además, en Tamaulipas se reconoce que el medio ambiente y los ecosistemas son usuarios del agua (LATAM, art. 76-III). Así mismo, las leyes de Nuevo León y de Tamaulipas establecen responsabilidades estatales en casos de emergencias extraordinarias que afecten los servicios, incluyendo los fenómenos hidrometeorológicos extremos (LAPSENL, 1997, art. 9).

¹³ Ley de Aguas para los Municipios del Estado de Coahuila de Zaragoza (LAMEC, 2009), publicada el 24 de febrero de 2009; su última reforma fue el 16 de diciembre de 2016. Ley de Agua Potable y Saneamiento para el Estado de Nuevo León (LAPSENL, 1997), publicada el 3 de octubre de 1997; su última reforma fue el 24 de diciembre de 2010. Ley de Aguas del Estado de Tamaulipas (LAETAM, 2006), publicada el 3 de febrero de 2006; su última reforma fue el 20 de marzo de 2018.

¹⁴ Las leyes estudiadas no cuentan con la figura de reglamento.

En lo que respecta a la consideración de la relación entre la gestión ambiental y la territorial, el marco analizado cubre parcialmente este criterio, en el sentido de que se limita básicamente a los ámbitos jurisdiccionales de los servicios de agua respectivos. Se establecen declaratorias sobre la utilidad pública de la expropiación de bienes muebles en beneficio de la colectividad y de los objetivos de los mismos servicios, así como las atribuciones de los gobiernos municipales y estatales en esos procesos (LAMEC, 2009, art. 7; LAPSENL, 1997, art. 4-IV; LAETAM, 2006, art. 5-XV, 68-I al VI y 111). En el caso de Tamaulipas, se especifican los bienes inherentes de las aguas estatales en términos territoriales (cauces de corrientes de agua estatales, riberas o zonas estatales, terrenos ocupados por los vasos de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales cuyas aguas sean estatales) (LAETAM, 2006, art. 68-I al VII).

Respecto al criterio de coordinación, corresponsabilidad y gobernanza, son principios igualmente fundamentales detrás del buen funcionamiento y objetivos de la GIRH. En el primer caso, y a excepción de Nuevo León, el marco estudiado presenta nuevamente limitantes en cuanto a la cobertura territorial de sus preceptos operativos, que se circunscriben a las entidades respectivas (LAPSENL, 1997, art. 6-XIV).¹⁵ En materia de corresponsabilidad y gobernanza, existe un reconocimiento general de la participación social en la administración de los servicios de agua potable basada en principios de equidad y con objetivos de sustentabilidad del recurso. Las leyes de Nuevo León y de Tamaulipas trascienden esta visión al proponer la organización de asociaciones vecinales u otras formas de participación en los servicios (LAPSENL, 1997, art. 26), y la constitución de un Consejo Estatal del Agua, como un organismo de concertación y coordinación (LAETAM, 2006, art. 40, 1 y 2).

En general, en la SRH-RSJ se cumple parcialmente con la incorporación de los principios de la GIRH en los criterios identificados, por lo que, si bien ha avanzado en llevar a cabo una gestión más sustentable del agua, sigue careciendo de una visión de cuenca, y los requerimientos de los ecosistemas para su conservación no son un uso prioritario reconocido en las disposiciones legales.

Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)

Normativamente, la gestión del agua en la SRH-BG está alineada a los valores constitucionales que orientan nacionalmente la política hídrica de nuestro país, así como a las leyes que de estos valores se desprenden. En el nivel regional, el marco legal de la subregión incorpora además las leyes de aguas de los estados de Chiapas

¹⁵ El marco normativo de Nuevo León prevé la participación en el abasto de aguas del estado mediante el establecimiento de convenios específicos LAPSENL, 1997, art. 6-XIV).

(LAECH, 2000) y de Tabasco (LUAET, 2005), con sus respectivos reglamentos. Se observa que, tanto en las escalas normativa, de planeación y diseño de las estrategias programáticas y de líneas de acción, los marcos legal e institucional aplicables al territorio de Bajo Grijalva incorporan parcialmente algunos de los principios y de los valores de la GIRH (GWP, 2008). Se destaca en el marco institucional el énfasis en los principios vinculados con la gestión y la prevención de riesgos (LAECH, 2000, art. 103; LUAET, 2005, art. 75).

El contenido de las leyes estatales aplicables a la subregión da cuenta del estrecho espacio que la normatividad mexicana ofrece para realizar una gestión integral del agua con visión de cuencas y acuíferos. Ninguno de los instrumentos legales analizados ofrece criterios o lineamientos para que las decisiones que se toman a escala de entidad político-administrativa sean armónicas con la visión de cuenca y no consideren en la gestión la figura de los acuíferos.

La ley de usos del agua de Tabasco establece la posibilidad de «colaborar con las autoridades correspondientes en la vigilancia de cuencas alimentadoras» (LUAET, 2005, art. 6-XXII). Sin embargo, esta consideración no alcanza para incorporar la visión de cuenca, toda vez que el territorio de aplicabilidad de esta ley dentro de la subregión corresponde justamente a las partes bajas de la cuenca, con lo que la posibilidad de colaborar con las autoridades correspondientes depende de la disposición de las autoridades que se localicen cuenca arriba. Por lo tanto, la posibilidad de posicionar las cuencas hidrográficas y los acuíferos como las unidades más adecuadas para la gestión y la planificación de los recursos hídricos en la subregión es limitada (LUAET, 2005, art. 6-II, 17-IV).

En cuanto a la disponibilidad del agua y a la priorización de usos, se encontraron elementos que cumplen parcialmente con estos principios. Sólo la ley del estado de Chiapas ofrece un orden de prelación, en el que destaca el posicionamiento del uso industrial en segundo lugar de prioridad (LAECH, 2000, art. 4, 95, 128-III y 131). La ley de usos del agua del estado de Tabasco enumera los usos consuntivos, pero señala que es atribución del prestador de servicio establecer un orden de prelación. En ningún caso el uso ambiental está considerado dentro de los usos del agua (LUAET, 2005, art. 13).

La gestión ambiental y territorial es otro principio cuya incorporación es apenas tangencial. Mientras que el marco normativo de Tabasco declara de utilidad pública la conservación ambiental y la conservación del agua y saneamiento como asunto de interés público (LUAET, 2005, art. 55), la Ley de Aguas de Chiapas tiene una orientación más estrecha, en el sentido de que únicamente considera las figuras de vedas, reservas y reglamentos como instrumentos para paliar la contaminación del agua, pero no presenta una visión integral (LAECH, 2000, art. 6, 96, 106-II, 106 bis, 107-V y 109). Sobresale en este caso además un marcado énfasis en la infraestructura para la prestación de servicios.

También son fundamentales los principios de coordinación, corresponsabilidad y gobernanza para la aplicación de la GIRH. En materia de coordinación, el marco legal de la subregión es limitado, toda vez que se alinea al pacto federal que da sentido a México como nación. Ello significa que, si bien ambas legislaciones señalan expresamente la posibilidad de alianzas y cooperación entre los municipios y el gobierno del estado, entre éste y la federación y las asociaciones intermunicipales, lo cierto es que la coordinación se identifica únicamente en el interior de cada una de las entidades federativas y no entre éstas, limitando potencialmente el alcance de acciones concretas, impulsadas mediante los planes y los programas diseñados para aplicarse a nivel de cuenca (LUAET, 2005, arts. 17, 18, 23-I, 44-IX; RLUAET, 2012, art. 9-XV, 20-XXXI y XXXIV).

La corresponsabilidad se incorpora a través de la posibilidad de participación de los usuarios en diferentes acciones vinculadas con la organización y desempeño del prestador de servicios públicos, así como el reconocimiento expreso del derecho de los usuarios a exigir el cumplimiento de los contratos y la obligación de los usuarios para cuidar la infraestructura propia en favor de la correcta distribución del agua. Como tal, el contenido asociado a este principio aparece más en los reglamentos. En las leyes estatales se hace mención de la corresponsabilidad de los concesionarios, pero son escuetas la definición de derechos y las obligaciones relacionadas con el acceso al agua para consumo humano y con la conservación del recurso (LAECH, 2000, art. 103, LUAET, 2005, art. 20, 39-X y 41).

Se considera que el marco legal de Tabasco sí incorpora criterios relacionados con el principio de gobernanza, al reconocer la figura de los comités comunitarios de agua, y establecer que es facultad del gobierno brindar apoyo a esos comités. Ambos instrumentos legales reconocen, evidentemente, los órganos colegiados establecidos por la legislación nacional (LUAET, 2005, art. 76-X).

Respecto a la incorporación de los principios de la GIRH en esta subregión, se puede concluir que, en primer lugar, la gestión del agua en la subregión se encuentra fraccionada. Al estar conformada por el territorio de dos entidades, el marco legal de la subregión se compone de dos leyes estatales de aguas con diferentes niveles de incorporación de los principios de la GIRH. Se considera que la legislación en Tabasco, en general, tiene mejor integrados los principios mencionados, mientras que la de Chiapas está más orientada a la prestación de servicios de distribución de agua y a la infraestructura. El cuadro 1 evalúa los avances de la GIRH en las disposiciones normativas de las tres subregiones hidrológicas estudiadas.

*Cuadro 1. Evaluación de la GIRH en las disposiciones normativas de las subregiones**

	<i>Criterios</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>SRH-BG</i>
1	Gestión integral del agua con visión de cuencas.	P	P	P
2	Disponibilidad del agua y priorización de usos.	P	P	P
3	Gestión ambiental y territorial.	P	P	P
4	Principios de coordinación, corresponsabilidad y gobernanza.	P	P	P

*P indica que estos criterios se cumplen parcialmente.

Fuente: Elaboración propia.

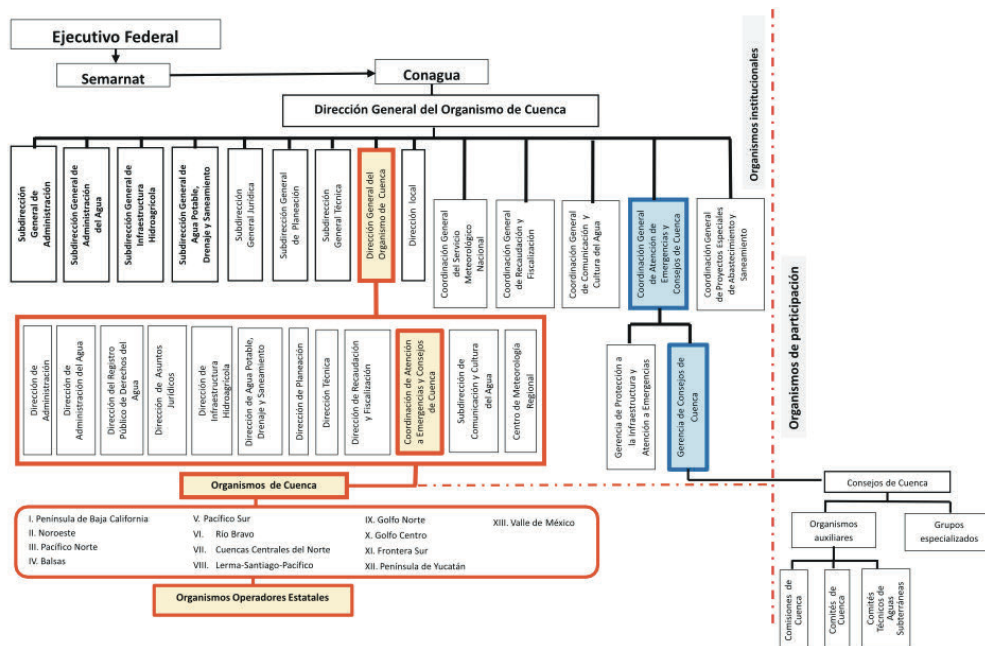
En el noveno capítulo de este libro, se analizará los obstáculos que se presentan en la implementación de la GIRH no son sólo de índole jurídica, sino también de carácter operativo. Las insuficiencias y discrepancias en los arreglos normativos se han traducido en obstáculos para lograr una correcta implementación del modelo de gestión. Así mismo, los vacíos legales en la incorporación de los principios de la GIRH han contribuido, en parte, a que las actuales prácticas en la gestión del agua sean poco sustentables y pongan en riesgo el funcionamiento de las ciudades y las actividades económicas, al afectar de manera negativa tanto la disponibilidad como la calidad del agua. Es palpable que la fragmentación político-administrativa ha impedido que se adopte la figura de cuenca como entidad de planeación y gestión. Y la visión limitada y obsoleta del agua subterránea en la LAN limita las posibilidades de gestionar el agua integralmente y reduce el margen de aplicación del enfoque de GIRH en las subregiones.

Arreglos institucionales

Los arreglos institucionales para realizar una GIRH se dividen en dos ámbitos: a escala federal, la autoridad técnica es Conagua; y a escala regional, la autoridad operativa son los organismos de cuenca. La Conagua es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), encargada del diseño, coordinación e implementación de la política hídrica nacional y de las disposiciones asociadas a la inversión y al mantenimiento de la infraestructura hidráulica. Es responsable de regular concesiones y otorgar permisos de descarga, perforación de pozos y recargas artificiales de los acuíferos (Sosa-Rodríguez, 2012). Dentro de su estructura orgánica, se encuentra la Dirección General del Organismo de Cuenca, encargada de administrar y preservar las aguas nacionales en el ámbito de las regiones hidrológico-administrativas (RHA).

Se identifican en el país 13 RHA que consideran la división político-administrativa de los municipios. Esta Dirección se encarga de vigilar el uso sustentable del recurso en las RHA, mediante la programación, ejecución, control y evaluación de los programas hídricos regionales (Conagua, 2016). Para ello, se apoya en los 13 organismos de cuenca, encargados de diseñar la política hídrica y la administración de las aguas nacionales en su jurisdicción, además de coordinar la gestión del agua con las autoridades estatales y locales, controlando las inundaciones y asignando a los organismos operadores estatales la dotación de agua en bloque (Sosa-Rodríguez, 2012). Respecto a los arreglos institucionales para impulsar la participación coordinada de los actores relevantes en la toma de decisiones (esto es gobiernos estatales, organizaciones de la sociedad civil (OSC), asociaciones de usuarios y los usuarios en general), la Conagua, por medio de la Coordinación de Atención a Emergencias y Consejos de Cuenca y de la Gerencia de Consejos de Cuenca, apoya la conformación y el funcionamiento de los Consejos de Cuenca. Se identifican en la actualidad 26 Consejos de Cuenca en el país (ver figura 1).

Figura 1. Arreglos institucionales de la gestión del agua en México



Fuente: Elaboración propia con base en LAN (1992).

A pesar de que esta coordinación y gerencia forman parte de la estructura orgánica de la Conagua, los Consejos de Cuenca no están subordinados a esta dependencia o al organismo de cuenca (Gobierno Federal, 2017b, art. 13) por ser instancias de coordinación y concertación entre la Conagua, las dependencias, las entidades federales, estatales y municipales, así como entre los representantes de los usuarios. Destacan entre las funciones de los Consejos de Cuenca la formulación y la ejecución de programas y acciones para mejorar la administración de las aguas, los servicios y la preservación de los recursos hídricos en la cuenca, además de la atención de los problemas de uso y distribución de agua, y los conflictos entre los usuarios de la región.

Otras de las funciones de los Consejos de Cuenca son: *a*) la contribución a la gestión, restablecimiento y mantenimiento del equilibrio hídrico en la cuenca; *b*) la definición de las prioridades de uso del agua con sus miembros y con el organismo de cuenca; *c*) la difusión de los lineamientos de la política hídrica nacional, regional y por cuenca; *d*) promover la participación y la coordinación con las autoridades estatales y municipales; *e*) la participación en estudios técnicos sobre el agua y su calidad y la definición de los criterios para seleccionar los proyectos a realizar en la cuenca; *f*) el apoyo a la infraestructura hidráulica, así como a los servicios de agua y saneamiento de las cuencas, subcuencas, microcuencas, acuíferos y cuerpos receptores de aguas residuales; y *g*) el apoyo a los programas de valoración del agua y de financiamiento para la gestión y la preservación de los recursos hídricos de la cuenca (Gobierno Federal, 2017b, art. 13 y 13 bis 3).

Cabe destacar que el Consejo es un espacio de consulta y de participación no remunerado, en el que los actores involucrados dan a conocer sus demandas, temas prioritarios y proyectos. Cada Consejo de Cuenca está conformado por un presidente, un secretario técnico y vocales con voz y voto, quienes representan los tres órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal), así como a los usuarios del agua y a la sociedad organizada (Gobierno Federal, 2017b, art. 13 bis). Para que los Consejos de Cuenca puedan realizar sus funciones, cuentan con el apoyo de organismos auxiliares, como las comisiones y comités de cuenca, así como los comités técnicos de aguas subterráneas (COTAS). Estos organismos apoyan en la toma de decisiones en el Consejo, pero no tienen voto (Gobierno Federal, 2017b, art. 14 bis). En el cuadro 2 se detallan las características de los integrantes del Consejo de Cuenca y el porcentaje de representatividad que deben tener.

Cuadro 2. Integrantes del Consejo de Cuenca y porcentaje de representatividad

<i>Integrantes</i>	<i>Grado de representación</i>
Presidente.	Un integrante.
Secretario técnico.	Un integrante.
Vocales federales.	Con base en la Fracción IV, art. 13 bis 2.
Vocales estatales y municipales.	Hasta 35 % del total de los representantes.
Vocales representantes de los usuarios y organizaciones de la sociedad civil.	Por lo menos en 50 % del total de los representantes.

Fuente: Elaboración propia con base en Gobierno Federal (2017a, art. 13 bis).

Subregión Hidrológica Valle de México (SRH-VM)

En el caso de la SRH-VM, que forma parte de la RHA número XIII, la instancia encargada de asignar el agua en bloque a los organismos operadores estatales de las entidades que la conforman es el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVAM). Entre los organismos operadores estatales se encuentran el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM), la Comisión Estatal de Agua y Alcantarillado (CEAA) de Hidalgo y la Comisión Estatal de Agua de Tlaxcala (CEAT1¹⁶). Como organismo de participación y consulta, se encuentra el Consejo de Cuenca de Aguas del Valle de México (CCAVM), el cual está integrado por 34 miembros, distribuidos en cada uno de los espacios de representación. El CCAVM se apoya en ocho comisiones de cuenca, (esto es, Ríos Amecameca y La Compañía); dos comités de cuenca (esto es, Texcoco y Río Tepotzotlán) y un COTAS (esto es, Cuautitlán-Pachuca), así como en siete grupos especializados, enfocados en el ordenamiento, abastecimiento, programación, comunicación y cultura del agua, saneamiento, acuacultura e informática (ver cuadros 3, 4 y la figura 1 del anexo 2). El cuadro 3 detalla los sectores integrantes y las dependencias que conforman los Consejos de Cuenca de las subregiones estudiadas, y el cuadro 4 describe sus arreglos institucionales.

¹⁶ La Comisión Estatal del Agua de Tlaxcala y la de Tamaulipas tienen las mismas siglas, por lo que en este trabajo las distinguiremos colocando después de cada sigla el número 1 para Tlaxcala (CEAT1) y el 2 para Tamaulipas (CEAT2).

Cuadro 3. Integrantes de los Consejos de Cuenca

<i>Consejo de Cuenca</i>	<i>Presidente</i>	<i>Secretario técnico</i>	<i>Vocales del Gobierno federal</i>	<i>Vocales de los gobiernos estatales y municipales</i>	<i>Vocales de los usuarios y de la sociedad civil organizada</i>
Aguas del Valle de México (CAAVM)	Electo por los miembros del Consejo.	Director general del OCAVAM.	Semarnat, Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), Secretaría de Energía (Sener), Secretaría de Economía (SE), Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sagarpa), Secretaría de Salud (SSA) (22 %).	Estados: C. Méx., México, Hidalgo y Tlaxcala Municipios (4) (25 %).	Vocales (17): académico, acuícola, agrícola, empresarial, forestal, industrial, pecuario, público-urbano y servicios (53 %).
Río Bravo (CCRB)		Director general del OCRB.	Semarnat, SHCP, Sedesol, Sener, SE, Sagarpa, SSA (14 %).	Estados: Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas Municipios (5) (20 %).	Vocales (31): agrícola, pecuario, público-urbano, industrial, agroindustrial, servicios, sociedad organizada y académico (62 %).
Grijalva Usumacinta (CCGU)		Director general del OCFS.	Semarnat, SHCP, Sedesol, Sener, SE, Sagarpa (18.7 %).	Estados de Chiapas y Tabasco Municipios (6) (18.7 %).	Vocales (18): agrícola, pecuario, público-urbano, generación de energía hidroeléctrica y servicios.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del CCAVM (2016), la Conagua (s. f.), el OCAVAM (2011) y el OCFS (2014).

Cuadro 4. Arreglos institucionales de los Consejos de Cuenca

<i>Consejo de Cuenca</i>	<i>Comisiones de Cuenca</i>	<i>Comités de Cuenca</i>	<i>COTAS/Comités de playa</i>
Aguas del Valle de México (CCAVM)	Valle de Bravo-Amanalco; Villa Victoria-San José del Rincón; presa Madín; presa Guadalupe; ríos Amecameca y La Compañía; laguna de Tecocomulco; y Rescate de Ríos, Barrancas y Cuerpos de Agua en el Valle de México.	Texcoco y río tepetzotlán.	Cuatitlán-Pachuca.
Río Bravo (CCRB)	Río Conchos, río San Juan, río Sabinas-Salado.	Coahuila: Región Centro del Estado de Coahuila, Región Carbonífera y río Sabinas-Salado. Tamaulipas: Comité Local de Playa Limpia Bagdad (también conocida como Playa Costa Azul).	Coahuila: Allende-Piedras Negras, cañón del Derramadero, Cuatrociénegas, Cuatrociénegas-Ocampo, General Cepeda-Sauceda, Saltillo-Ramos Arizpe. Chihuahua: Ascención, Baja Babícora, Buenaventura, Casas Grandes, Cuauhtémoc, El Sauz Encinillas, Janos, Jiménez Camargo.
Grijalva Usumacinta (CCGU)	Cuenca baja de los ríos Grijalva y Carrizal, cañón del Sumidero.	Río Sabinal, río Cuxtepec, lagunas de Montebello, laguna de Catazajá, valle de Jovel, río San Pedro-Missicab, río Cintalapa-La Venta.	Comités de playa: Centla, Cárdenas y Paraíso (Tabasco).

Fuente: Elaboración propia con base en datos del CCAVM (2016), la Conagua (s. f.), el OCAVAM (2011) y el OCFS (2014).

Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ)

Las actividades de la Conagua para la gestión y la administración del agua en la SRH-RSJ se encuentran a cargo del Organismo de Cuenca Río Bravo (OCRB). La jurisdicción del OCRB corresponde a la RHA número VI y comprende los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. El trabajo operativo del OCRB se coordina con las autoridades estatales y municipales dentro de su jurisdicción. Para el manejo del agua en bloque se apoya en órganos operadores de agua estatales, como los Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila (CEAS) y la Comisión Estatal de Agua de Tamaulipas (CEAT2).

Para cumplir con sus responsabilidades, el OCRB se apoya en el Consejo de Cuenca Río Bravo (CCRB), en el cual participan 50 vocales titulares, representantes de las instancias involucradas en la gestión y la preservación del agua en la cuenca. El CCRB se apoya en diversos organismos auxiliares que incluyen comisiones (Río San Juan) y comités de cuenca (Sabinas-Salado), así como COTAS (Buenaventura) para cumplir sus funciones (ver cuadro 3). Así mismo, cuenta con grupos especializados de trabajo, como el Grupo de Reglamento, Uso y Distribución de Aguas Superficiales, el Grupo de Modelación y Simulación de Escenarios, el Grupo para la Definición de Extraordinaria de Sequías y el Grupo Interinstitucional Técnico de Trabajo. Estos grupos se enfocan en el cálculo de los escurrimientos naturales restituidos de los afluentes del río Bravo y en la construcción de políticas de operación en la Cuenca del Río Bravo (véanse los cuadros 3, 4 y el anexo 2, figura 2).

Subregión Hidrológica Bajo Grijalva (SRH-BG)

Bajo Grijalva es una de las seis subregiones del Consejo de Cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta (CCGU). A su vez, el CCGU conforma, junto con el Consejo de Cuenca Costa de Chiapas (CCCH), el ámbito de actuación del Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS), entre cuyas funciones destaca la asignación del agua en bloque, tanto a la Comisión Estatal del Agua y Saneamiento (CEAS) de Tabasco como a la del Instituto Estatal del Agua (INESA) en Chiapas (Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos, 2010). El CCGU está integrado por 32 miembros que ocupan los diferentes espacios de representación y cuenta con tres comités de playas, siete comités de cuenca y dos comisiones de cuenca, los cuales constituyen órganos auxiliares para el desempeño de funciones específicas y de menor escala territorial. Este Consejo para la atención de temas prioritarios también cuenta con grupos especializados de trabajo, entre los que se encuentra el de la Microcuenca de Nueva Palestina (ver cuadros 3, 4 y el anexo 3, figura 3).

Los principios de la GIRH se hacen operativos en los planes y programas estatales, en los que hay un marcado énfasis en la prevención de los impactos de los riesgos climáticos.¹⁷ Cabe mencionar que aunque estos programas incorporan varios principios de la GIRH, omiten criterios de coordinación y de vinculación entre la gestión hídrica y territorial, pero destacan la corresponsabilidad de los sectores para el cuidado del agua y definen como prioridad la garantía del acceso al agua, la conservación de los ríos, el mantenimiento del equilibrio de los acuíferos y el fomento de los asentamientos humanos seguros.

¹⁷ El Programa Hídrico del Organismo de Cuenca Frontera Sur, visión 2030 (OCFS, 2012a) y el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía del Consejo de Cuenca de los Ríos Grijalva y Usumacinta (OCFS, 2012b).

El marco normativo federal crea las condiciones para establecer con claridad los arreglos institucionales a partir de los cuales se llevará a cabo la GIRH. Sin embargo, la gestión del agua en términos operativos y la definición de sus prioridades en líneas de acción concretas dependen de la formulación y de la evaluación de los planes y programas implementados. Es en este proceso, de pasar de los ámbitos institucional y legal al ámbito operativo, donde se identifican los principales obstáculos para llevar a cabo un manejo de los recursos hídricos desde una visión de cuencas, en la que la gestión del agua y del territorio estén vinculados, para que puedan existir los mecanismos que permitan la corresponsabilidad y la gobernanza. En este sentido, la definición de las líneas estratégicas y las acciones concretas para la gestión del agua siguen enfocándose principalmente en proyectos de infraestructura hídricas que responden a una visión ofertista y sectorizada de la gestión del agua, lo cual no es congruente con los principios de la GIRH, pero que siguen siendo la visión política dominante de la gestión del agua en México.

Conclusiones

Las actuales prácticas de gestión del agua son poco sustentables en las subregiones estudiadas, dado que las acciones implementadas están concentradas en atender las demandas crecientes de agua, resultado de las actividades económicas predominantes en el territorio. Aunque los principios de la GIRH han permeado en el marco normativo federal, y en los arreglos institucionales orientados a la toma de decisiones, no es posible afirmar que existan las bases jurídicas necesarias para que la gestión del agua se realice con un enfoque de cuenca y se tome en cuenta la dinámica ambiental del agua subterránea.

En el análisis realizado se muestra también que, a escala local, no hay un respaldo legal para establecer usos prioritarios ni para vincular la gestión del territorio con el agua. De la misma manera, los mecanismos de coordinación y de corresponsabilidad se limitan a la construcción de infraestructura, pero son insuficientes para generar esquemas de gobernanza del agua. A nivel operativo, la gestión del agua en México sigue privilegiando una visión ofertista, sectorializada y centralizada, por lo que los obstáculos que se presentan para la implementación de la GIRH no son sólo de índole jurídica sino también de carácter operativo. En este sentido, cabría señalar que, entre los principios de equidad y sustentabilidad que la definen, la GIRH tiene también una agenda política que se refleja en los alcances de las decisiones emanadas del marco institucional vigente, en la capacidad institucional en términos de agencia y en los mecanismos de control político que puedan existir en las estructuras existentes. Estos aspectos operativos son el tema analizado en el noveno capítulo de este libro.

Otro obstáculo para la puesta en marcha del modelo de GIRH radica en que sus principios no han permeado en la normatividad estatal. En consecuencia, las estrategias implementadas siguen privilegiando los usos del agua para las actividades agrícolas e industriales, sin prestar atención a los requerimientos de los ecosistemas y sin establecer explícitamente la prioridad del uso para consumo humano. Esta situación ha repercutido tanto en la disponibilidad como en la calidad de los recursos hídricos del país, pero sobre todo repercute en el acceso inequitativo al agua por parte de los diferentes grupos sociales y pone en riesgo el funcionamiento ecohidrológico. No se logrará implementar de manera exitosa una GIRH en las subregiones hidrológicas mientras la conservación de los recursos hídricos y los ecosistemas asociados sigan careciendo de la prioridad necesaria para garantizar la seguridad hídrica.

Por consiguiente, alcanzar una GIRH en las subregiones estudiadas y en el país enfrentará grandes desafíos en las próximas décadas, dado que difícilmente las instituciones responsables del manejo del agua, en particular las que se encuentran en el nivel local, contarán con los recursos financieros, humanos y tecnológicos que se requieren. Por lo pronto, el modelo de GIRH sigue siendo un modelo flexible discursivamente, pero con grandes vacíos legales en el momento de definir acciones concretas para su implementación. Esto significa que, si bien la GIRH ofrece lineamientos claros sobre diferentes temas vinculados con la gestión, es fundamental que éstos se incorporen en las legislaciones locales, con el fin de que sigan una lógica adaptativa, además de tener en cuenta la dinámica hídrica de la subregión en su conjunto.

Anexo 1

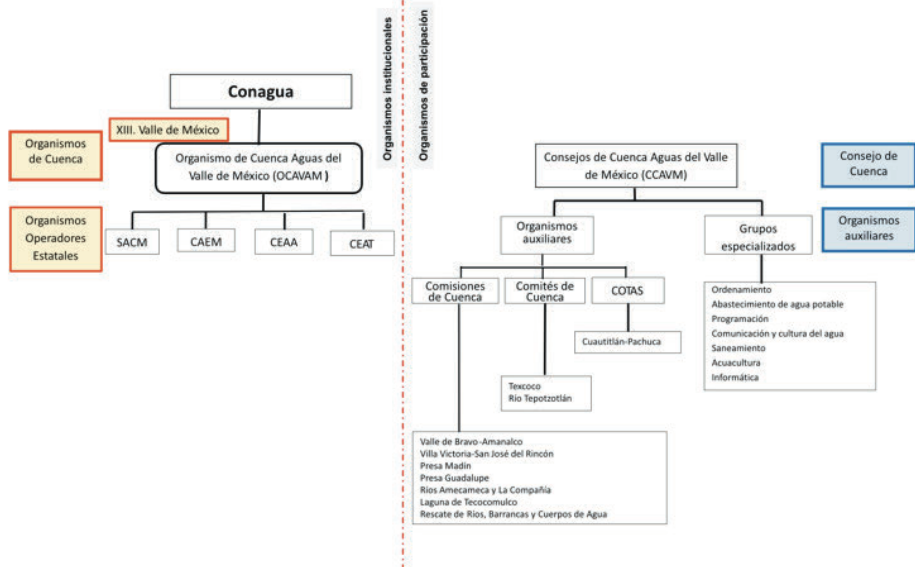
Cuadro 1. Principios de la GIRH y sus criterios de aplicación

<i>Principio</i>	<i>Criterios de aplicación</i>
1. El agua es un recurso finito, vulnerable, indispensable para la vida y para las actividades económicas.	Criterios de asignación y prioridad de usos, incluyendo al medio ambiente.
2. El agua tiene distintas fases y es un recurso móvil que da lugar al ciclo hidrológico.	Criterios de integralidad, considerando las diferentes fases del ciclo hidrológico. Criterios de gestión por cuenca, considerando las interrelaciones aguas arriba y aguas abajo. Criterios de vinculación, considerando los impactos generados aguas abajo. Criterios de gestión ambiental, vinculando la gestión del territorio con el agua e incorporando valores de conservación, restauración y manejo sustentable.
3. El agua es un recurso de ocurrencia variable tanto espacial como temporal.	Criterios de disponibilidad y mecanismos para garantizar un suministro oportuno. Criterios que consideran el impacto de las obras de infraestructura hidráulica para el abastecimiento de agua, de tipo social, ambiental y económico.
4. Las cuencas hidrográficas y los acuíferos son la mejor unidad de gestión y planificación de los recursos hídricos.	Criterios para la toma de decisiones con visión de cuenca.
5. El agua tiene usos múltiples sociales y económicos, siendo las demandas para el consumo humano básico y la sostenibilidad ambiental prioritarias.	Criterios de multidimensionalidad en la planificación que articulan la planificación hídrica con la planificación ambiental, para el desarrollo social y el desarrollo económico.
6. La delimitación natural de las aguas superficiales y subterráneas trasciende los límites político-administrativos.	Criterios de coordinación institucional para la gestión coordinada y consensuada de los cuerpos de agua compartidos entre diferentes entidades.
7. Los recursos hídricos se ven impactados en diferentes niveles por las actividades económicas en el territorio.	Criterios de vinculación entre la gestión hídrica y la gestión territorial para promover la participación del sector hídrico en la toma de decisiones que incidan en el territorio.
8. El agua es un factor de riesgo en situaciones de excedencia, escasez hídrica, contaminación y fallas de infraestructura.	Criterios de gestión de riesgo que permiten planificar escenarios de contingencia, para prevenir y reducir los impactos negativos.
9. La GIRH debe garantizar la asignación del agua bajo los principios de equidad, participación efectiva, transparencia y respondiendo a las necesidades básicas humanas.	Criterios de corresponsabilidad que fomentan la responsabilidad compartida entre los organismos de gobierno y los usuarios del agua. Criterios de gobernanza que promueven la participación efectiva de la sociedad en la definición de las prioridades de planificación hídrica y toma de decisiones. Criterios de descentralización que favorecen que las instancias locales (más cercanas a los usuarios) tomen decisiones de planeación, promoviendo la participación social y la creación de mecanismos para la construcción de consensos y manejo de conflictos.
10. La planificación hídrica es el resultado de la conjunción de acciones estructurales y no estructurales orientadas a favorecer una GIRH.	Criterios relacionados con acciones estructurales. Criterios relacionados con acciones no estructurales que consideren acciones orientadas a mejorar las formas de gestión, el desarrollo de tecnología y las disposiciones legales. Criterios de planificación integral que consideren la integración de la planeación de acciones estructurales con acciones no estructurales.

Fuente: Elaboración propia con base en GWP (2008, pp. 6-8).

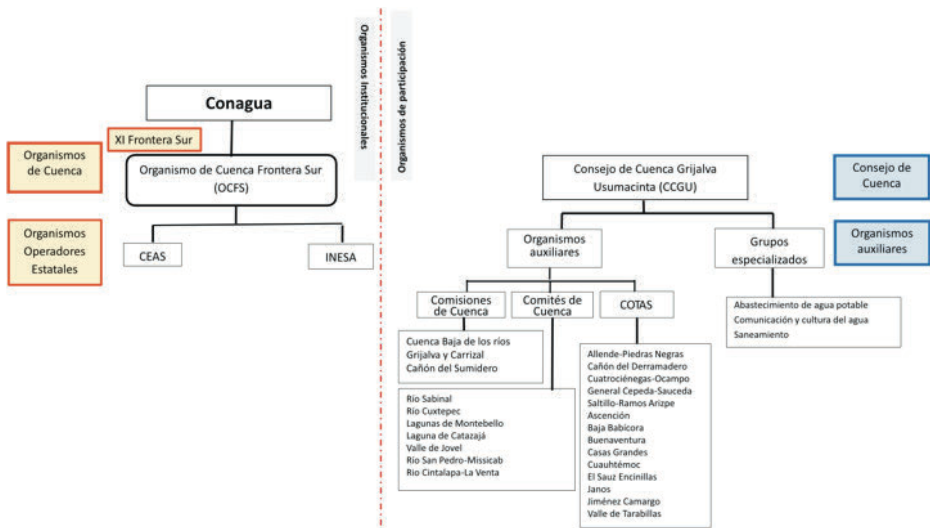
Anexo 2

Figura 1. Arreglos institucionales en la RHA Valle de México



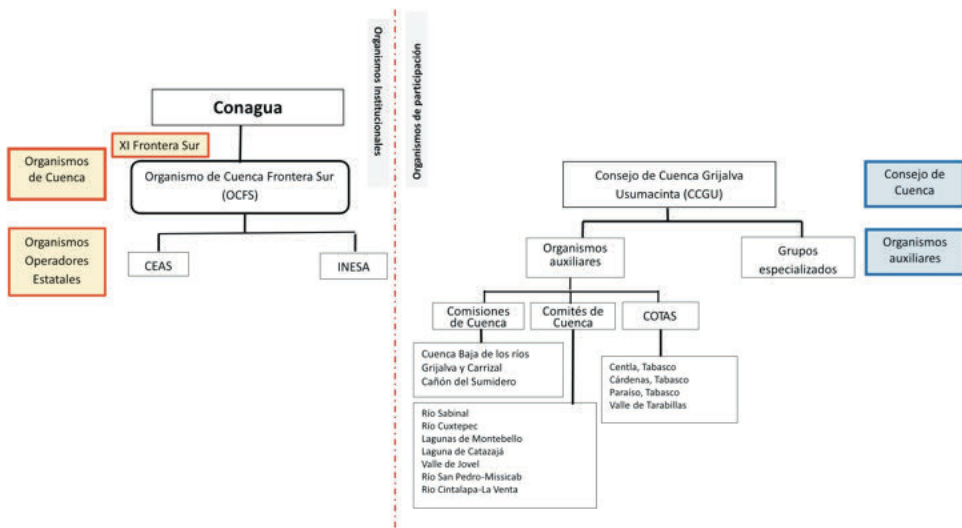
Fuente: Elaboración propia con base en DOF (2015 y 2016) y Semarnat (2010).

Figura 2. Arreglos institucionales en la RHA Río Bravo



Fuente: Elaboración propia con base en Conagua (s. f.).

Figura 3. Arreglos institucionales en la RHA Grijalva Usumacinta



Fuente: Elaboración propia con base en Organismo de Cuenca Frontera Sur (2014).

Referencias

- Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de las subregiones hidrológicas Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 29 de abril de 2010.
- Aguilar Benitez, I. y Monforte, G. (2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad: el caso del Área Metropolitana de Monterrey. *Gestión y Política Pública*, 27(1), 149-179.
- Bello, J. (2016). *Planta de tratamiento de aguas residuales Atotonilco-México. Evaluación de proyecto. Harvard-Zofnass Programm*. [Documento de trabajo]. Cambridge, MA.: Graduate School of Design Harvard University Recuperado de https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/files/2016/08/05_Atotonilco_SP_FinalDocument.pdf
- Biswas, A. (2005). Integrated water resources management: a reassessment. En A. K. Biswas, O. Varis y C. Tortajada (edits.), *Integrated Water Resources Management in South and Southeast Asia* (pp. 325-341). Nueva Delhi: Oxford University Press.
- Biswas, A. (2008). Integrated water resources management: is it working? *Water Resources Development*, 24(1), 5-22.

- Carrillo, J., Villavicencio, A. y Gutiérrez, G. (2009). Agua potable y saneamiento. En Comisión Nacional del Agua, *La segunda fase para la integración del Plan Hídrico Integral de Tabasco* (pp. 718-764). Villa Hermosa, México: UNAM-Instituto de Ingeniería.
- Consejo de Cuenca de Aguas del Valle de México (CCAVM). (2016). Acta de la quinta sesión ordinaria de la Comisión de Operación y Vigilancia (COVI) del Consejo de Cuenca Aguas del Valle de México [minuta de sesión de la Comisión de Operación y Vigilancia]. México: OCAVAM/CCAVM/COVI.
- Comisión Nacional del Agua. (Conagua). (2012). *Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT)* (1.^a, 2.^a y 3.^a etapa). Tabasco: Autor. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/plan-hidrico-integral-de-tabasco-phit-45023>
- Comisión Nacional del Agua. (Conagua). (2014a). *Estadísticas del agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII*. México: Conagua/Organismos de Cuenca Aguas del Valle de México.
- Comisión Nacional del Agua. (Conagua). (2014b). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua. (Conagua). (2014c). *Programa Hídrico Regional Visión 2030 Región Hidrológico-Administrativa VI Río Bravo*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua. (Conagua). (2015). *Inventario de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua. (Conagua). (2016). *Estadísticas del agua en México 2016*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua. (Conagua). (2018). *Estadísticas del agua en México 2018*. México: Autor.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (s. f.). *Reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuenca Río Bravo*. México: Autor. Recuperado de http://cdn-cms.f-static.com/uploads/690147/normal_5a4cfd8fd4dc1.pdf
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM). (31 de enero de 1917). *Diario Oficial de la Nación*. 5 de febrero de 1917 (reforma publicada el 15 de septiembre de 2017). México: DOF.
- Cubas, F., Llano, M. y Rosenzweig, L. J. (2017). El misterio del agua subterránea en México. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/08/El-misterio-del-agua-subterranea-en-Mexico.pdf>
- Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de las subregiones hidrológicas Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 29 de abril de 2010.

- Ezcurra, E. y Mazari, M. (1996). Are megacities viable? A cautionary tale from Mexico City. *Environment*, 38(1), 6-35. Recuperado de <https://www.sdnhm.org/oceanoasis/brcc/reprints/42.pdf>
- Gallego-Ayala, J. (2013). Trends in integrated water resources management research: a literature review. *Water Policy*, 15(4), 628-647.
- Global Water Partnership (GWP). (2008). *Principios de gestión integrada de los recursos hídricos bases para el desarrollo de planes nacionales*. Montevideo, Uruguay: Autor.
- Hatch-Kuri, G. (2017). Agua subterránea en México, retos y pendientes para la transformación de su gestión. En R. Pacheco-Vega (coord.), *El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica* (pp. 149-170). México: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (2014). *Censo económico 2014*. México: Autor.
- Kundell, J. E. y Hatcher, K. J. (1985) The policy agenda for integrated water management. *State & Local Government Review*, 17(1), 162-173.
- Ley de Aguas del Distrito Federal (LADF) (2003). *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, Distrito Federal, 27 de mayo de 2003. (Reforma publicada el 27 de mayo de 2015). Recuperado de <http://aldf.gob.mx/archivo-d0c1ac48ef930701568a2cb-d52e7d29e.pdf>
- Ley de Aguas Nacionales (LAN) (1992). *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 1 de diciembre de 1992. (Reforma publicada el 29 de abril de 2004). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf
- Ley de Agua para el Estado de México (LAEM). (1999). *Gaceta del Gobierno del Estado de México*, Toluca, 10 de marzo de 1999. (Reforma publicada el 22 de febrero de 2013). Recuperado de <https://docs.mexico.justia.com/estatales/mexico/ley-del-agua-del-estado-de-mexico.pdf>
- Ley de Aguas del Estado de Tamaulipas (LAETAM). (2006). *Periódico Oficial*, Ciudad Victoria, 15 de febrero de 2006 (Reforma publicada el 20 de marzo de 2018). Recuperado de http://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2018/03/Ley_Aguas.pdf
- Ley de Aguas del Estado de Tlaxcala (LAET). (2001). *Periódico oficial del Gobierno del Estado*, Tlaxcala, 10 de diciembre de 2001. Recuperado de <https://docs.mexico.justia.com/estatales/tlaxcala/ley-de-aguas-del-estado-de-tlaxcala.pdf>.
- Ley de Agua Potable y Saneamiento para el Estado de Nuevo León (LAPSEN). (1997). *Periódico Oficial*, Monterrey, 3 de octubre de 1999 (Reforma publicada el 24 de diciembre de 2010). Recuperado de <https://agua.org.mx/biblioteca/ley-agua-potable-saneamiento-nuevo-leon-24-diciembre-2010/>

- Ley Estatal de Agua y Alcantarillado del Estado de Hidalgo (LEAAEH). (1999). *Periódico Oficial*, Pachuca, 30 de diciembre de 1999. (Reforma publicada el 31 de diciembre de 2013). Recuperado de http://www.pjhidalgo.gob.mx/transparencia/leyes_reglamentos/leyes/89_ley_estatal_agua_alcantarillado.pdf
- Ley de Aguas para el Estado de Chiapas (LAECH) (2000). *Periódico Oficial*, Tuxtla Gutiérrez, 8 de diciembre de 2000. (Reforma publicada el 11 d diciembre de 2013). Recuperado de <http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-chis/CPS-L-Aguas2013-12.pdf>
- Ley de Aguas para los Municipios del Estado de Coahuila de Zaragoza (LAMEC) (2009). *Periódico Oficial*, Saltillo, 24 de febrero de 2009. (reforma publicada el 29 de octubre de 2019). Recuperado de http://congresocoahuila.gob.mx/transparencia/03/Leyes_Coahuila/coal66.pdf
- Ley de Usos del Agua del Estado de Tabasco, (LUAET). (2005). *Periódico Oficial*, Villahermosa, 21 de mayo de 2005. (Reforma publicada el 11 de mayo de 2017). Recuperado de <https://congresotabasco.gob.mx/wp/wp-content/uploads/2019/02/Ley-de-Usos-de-Agua-del-Estado-de-Tabasco.pdf>
- Návar Cháidez, J. J. (2010). Water scarcity and degradation in the Rio San Juan Watershed in Northeastern Mexico. *Frontera Norte*, 23(46), 125-150.
- Organismo de Cuenca de Aguas del Valle de México (OCAVAM). (2011). *Reglas generales de integración, organización y funcionamiento del Consejo de Cuenca del Valle de México*. México: Autor.
- Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS). (2012a). *Programa Hídrico del Organismo de Cuenca Frontera Sur, visión 2030 (PHOCFS)*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Conagua.
- Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS). (2012b). *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía del Consejo de Cuenca de los Ríos Grijalva y Usumacinta (PMPMS)*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Conagua.
- Organismo de Cuenca Frontera Sur (OCFS). (2014). Acta de la decimonovena sesión ordinaria de la Comisión de Operación y Vigilancia del Consejo de Cuenca de los Ríos Grijalva y Usumacinta. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99962/PMPMS_CC_R_os_Grijalva_y_Usumacinta_Acta_aprobaci_n.pdf
- Rahaman, M. M. y Varis, O. (2005). Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 1(1), 15-21.
- Ramírez Lara, E. (2004). *Evaluación de la contaminación fecal en ríos urbanos mediante la determinación de urobilinas* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza.

- Reglamento del servicio de agua y drenaje para el Distrito Federal (RLADF). (1990). México, *Diario Oficial*, 25 de enero de 1990. Reforma publicada el 20 de octubre de 1997. Recuperado de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/577/2a2/590/5772a25902381426247327.pdf>
- Reglamento de la Ley de Aguas del Estado de México (RLAEM) (2014). *Gaceta del Gobierno*, Toluca 12 de septiembre de 2014. Recuperado de <https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/rgl/vig/rgl-vig048.pdf>
- Reglamento Ley de Aguas del Estado de Tlaxcala (RLAET). (2014). *Periódico Oficial*, Tlaxcala.
- Reglamento de la Ley Estatal de Agua y Alcantarillado del Estado de Hidalgo (RLEAEH). (2000). *Periódico Oficial del Estado de Hidalgo*, 21 de agosto de 2000. Recuperado de <http://intranet.e-hidalgo.gob.mx/NormatecaE/Archivos/RegLeyAgua2000.pdf>
- Reglamento de la Ley de Usos del Agua del Estado de Tabasco (RLUAET). (2012). *Periódico Oficial*, Villahermosa, 1 de febrero de 2012. Recuperado de <https://tsj-tabasco.gob.mx/documentos/3625/REGLAMENTO-DE-LA-LEY-DE-USOS-DE-AGUA/>
- Sosa-Rodríguez, F. S. (2010a). Exploring the risks of ineffective water supply and sewage disposal: a case study of Mexico City. *Environmental Hazards*, 9(2), 135-146.
- Sosa-Rodríguez, F. S. (2010b). Impacts of water-management decisions on the survival of a city: from ancient Tenochtitlan to modern Mexico City. *Water Resources Development*, 26(4), 675-687.
- Sosa-Rodríguez, F. S. (2012). Modelo de evaluación del servicio de agua y drenaje en el Distrito Federal. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 4(7), 104-135.
- Sotelo, E. (2018). Ciudad, Constitución y medio ambiente: de los derechos a las estrategias. En M. Canto, L. Álvarez, y U. Zurita (coords.) *La universidad de cara a la Constitución de la Ciudad de México* (pp. 71-82). México: Editorial Fontamara/UAM Xochimilco.
- Toledo, H. (2011). Fragilidad, vulnerabilidad y riesgo en la Cuenca Baja del Sistema Grijalva-Usumacinta (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.
- Watts, J. (12 de diciembre de 2015). La crisis del agua en la ciudad de México. *The Guardian*. Recuperado de <https://www.theguardian.com/cities/2015/nov/12/la-crisis-del-agua-de-la-ciudad-de-mexico>

EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: RETOS Y AVANCES

Fabiola S. Sosa Rodríguez / José Luis Castro Ruíz*

Introducción

El análisis desarrollado en el capítulo anterior permitió conocer el estado de los arreglos normativos federales y estatales que sustentan las condiciones necesarias para una implementación exitosa de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en las subregiones hidrológicas estudiadas. En el presente capítulo se examinan los avances y los retos que se presentan a escala operativa para la implementación de la GIRH, por medio de la reflexión sobre las percepciones que los actores clave tienen de la gestión de los recursos hídricos en las cuencas a las que pertenecen las subregiones hidrológicas analizadas.

La evaluación de los avances y de los obstáculos en la implementación de la GIRH se realizó mediante el análisis de entrevistas semiestructuradas a los actores clave en la toma de decisiones en materia de agua, entre los que se incluyen: 1) las autoridades federales, regionales, estatales y locales (p. ej., la Comisión Nacional del Agua [Conagua], el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México [OCAVAM], comisiones estatales de agua) y a los integrantes de los Consejos de Cuenca de las subregiones analizadas; 2) los vocales federales que forman parte de las dependencias federales cuyas funciones se vinculan con el agua (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [Sagarpa], Secretaría de Energía [Sener] y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], entre otros); 3) las dependencias estatales y municipales que también se vinculan con el agua, e incluyen a los representantes de los gobiernos estatales y municipales; y 4) los representantes de los usuarios, que diferían dependiendo de la zona de estudio (académica, acuícola, agrícola, forestal-ambiental,

* Los autores externan su más profundo agradecimiento a las contribuciones del doctor Miguel Ángel Díaz Perera, investigador de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), por su apoyo en la realización de las entrevistas en la Subregión Hidrológica del Bajo Grijalva. De igual forma, damos las gracias a la doctora Esthela I. Sotelo Núñez, profesora-investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X), por sus sugerencias para fortalecer la discusión de este capítulo.

doméstico, público-urbano, industrial, empresarial, pecuario, servicios, indígena y mujeres) (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Entrevistados por subregión

<i>Sector</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>
Federal (Conagua)	X	X	X
Organismo de Cuenca	X	X	X
Consejo de Cuenca y organismos auxiliares (comisiones de cuenca, comités técnicos de aguas subterráneas [COTAS])	X	X	X
Comisión Estatal	X	X	X
Usuarios agrícolas	X	X	X
Usuarios pecuarios	X	X	X
Usuarios acuícolas	X	X	NA
Usuarios forestales	X	X	NA
Usuarios industriales, empresariales y comerciales	X	X	X
Usuarios de servicios	X	X	X
Usuarios académicos	X	X	X
Usuarios doméstico, público-urbanos (autoridades locales)	X	X	X
Usuarios de la sociedad organizada	NA	X	X
Indígenas	NA	X	NA
Mujeres	NA	X	NA

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Se analizó la pertinencia de los arreglos institucionales, el conocimiento sobre el enfoque de la GIRH, la existencia de mecanismos de planeación, monitoreo y supervisión que apoyan la gestión, las condiciones que permiten una participación efectiva y las estrategias para garantizar la transparencia en la asignación del recurso y en la toma de decisiones. En cuanto a los arreglos institucionales y conocimiento de este enfoque, se identificaron los tipos de coordinación y colaboración existente entre los actores y las instituciones, los mecanismos establecidos intersectoriales y multinivel, así como las instancias identificadas como responsables de la GIRH y sus niveles de eficacia. En el caso de los mecanismos de planeación y monitoreo, se analizaron los procesos de planeación para la toma de decisiones, la existencia de manuales de procedimientos y guías operativas, la aplicación de sanciones y los mecanismos de atención a quejas. Para la participación, se examinaron los mecanismos que favorecen la

participación de los actores, los que definen las condiciones de elección de representantes y que dan seguimiento a los acuerdos. También se identificaron los criterios para la asignación de los recursos y su congruencia respecto a las responsabilidades en la gestión del agua.

El capítulo está dividido en cuatro secciones generales. En primer lugar, se describe la metodología desarrollada para el análisis, en la que se incluyen los perfiles de los entrevistados y la estructura del instrumento empleado. La segunda sección presenta los principales hallazgos encontrados en las subregiones estudiadas. Posteriormente se abordan las principales diferencias ubicadas a partir de las respuestas vertidas en cada uno de los temas que fueron evaluados sobre los niveles operativos de la instrumentación de la GIRH. El capítulo finaliza con un apartado de conclusiones en el que se exponen los puntos más sobresalientes, además de desarrollar algunas sugerencias para atender las problemáticas que se identificaron.

En general, como pone en evidencia este capítulo, los principales retos de la GIRH se encuentran en su operación, ya que los arreglos normativos a escala federal, así como los arreglos institucionales, definen cabalmente los principios de la gestión integral. Sin embargo, los obstáculos en materia de asignación de recursos y su disponibilidad, la falta de mecanismos para realizar un monitoreo permanente, la falta de espacios de participación efectiva y legítima de los integrantes del Consejo de Cuenca y la elevada centralización de la gestión en la Conagua a escala federal, representan importantes oportunidades de mejora para crear las condiciones que permitan una gestión del agua más sustentable a largo plazo e incluyente.

Avances y obstáculos de la GIRH en las subregiones hidrológicas de estudio

En esta sección se destacan los hallazgos generales respecto a los avances y los obstáculos que ha presentado la implementación del modelo de la GIRH, a partir de la conceptualización de la Asociación Mundial del Agua (Global Water Partnership [GWP], 2008) y de la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 1992, art. 3-XXIX). Se identifican aquellos aspectos comunes en todas las subregiones analizadas. En general, se encontró una falta de comunicación, coordinación y colaboración entre los diferentes actores involucrados en la gestión del agua, lo cual ha afectado la toma de decisiones. Esta situación se vuelve más compleja ante las restricciones económicas y materiales que enfrentan diferentes instancias involucradas en la gestión del agua para realizar cabalmente sus funciones. Lo anterior, pone en evidencia los retos que enfrenta el sector del agua para atender las diferentes problemáticas, debido a que no se reconoce la gestión del agua como una prioridad nacional, por lo que no se le da una asignación presupuestal y de recursos humanos que sea congruente con los niveles de complejidad y demanda que enfrenta este sector.

Identificación de la GIRH e instancias responsables

En general, los diferentes sectores involucrados en la gestión del agua tienen una noción sobre qué es la GIRH, que coincide con lo que señala la LAN (1992, art. 3-XXIX) y en la que destaca la integración de los aspectos ambientales, sociales, legales y económicos. Algunos de los sectores económicos apuntan que la GIRH corrige los desequilibrios entre la oferta y la demanda, favoreciendo un uso más sostenible de los recursos hídricos. Entre los elementos, señalados por las autoridades y los Consejos de Cuenca, que deben tomarse en cuenta para lograr una GIRH, están la garantía de suministro de agua y tomar en cuenta la disposición, el tratamiento y la reutilización de las aguas residuales tratadas como estrategias centrales para un uso más sostenible del recurso (LAN, 1992, art. 3-VII). Otro elemento que se destacó, es que todos los recursos hídricos deben contar con planes de manejo integral que busquen promover el equilibrio entre la disponibilidad, los permisos y las concesiones (LAN, 1992, art-XLIII). La interpretación y la comprensión de las implicaciones de la GIRH tienden a ser más claras para los funcionarios de la Conagua a nivel federal; sin embargo, para los funcionarios de los organismos de cuenca, la tendencia se orienta hacia la vaguedad y confusión de este concepto.

La Conagua sobresale como la entidad central en la toma de decisiones, en la aplicación de normas respecto al financiamiento y a la coordinación con otras instancias federales y estatales, a partir de la cual opera la GIRH (LAN, 1992, art. 9). Como parte de esta estructura se ubican también los organismos de cuenca (LAN, 1992, art. 13). También se considera que algunas secretarías son las instancias clave para la gestión del agua, aunque no existen mecanismos intersectoriales que favorezcan la coordinación y la colaboración entre dichas instancias para garantizar la gestión integral del agua. Entre las secretarías identificadas destacan: la Semarnat, la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la Sagarpa, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) y la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol).

Los organismos operadores están considerados sólo como instancias ejecutoras; y los Consejos de Cuenca, como instancias donde se llevan a cabo procesos protocolarios en los que no se definen ni se atienden las prioridades ni las necesidades que los representantes de los usuarios han identificado. Por consiguiente, se percibe a estos organismos como instancias de apoyo. De manera similar, los organismos auxiliares que apoyan a los Consejos de Cuenca para el cumplimiento de sus atribuciones tienen voz pero no voto en la toma de decisiones, y se limita su participación a pesar de ser las instancias más cercanas a las problemáticas presentes en las cuencas y contar con un conocimiento más cercano de las mismas.

Aunado a estas importantes limitaciones en el desarrollo efectivo de sus funciones, estas instancias de gestión no reciben el apoyo económico, de recursos humanos ni técnico requerido para el cumplimiento de sus funciones. Se considera que

dados los niveles de especialización y de conocimiento sobre las características de las cuencas donde apoyan la gestión, estas instancias deben considerarse estratégicas para la identificación y la atención de prioridades, por lo que debe asignárseles los recursos que requieren para el desempeño de sus funciones y en tiempo para que puedan realizar las diversas actividades planteadas en sus programas de trabajo. Así mismo, deben integrarse en la toma de decisiones sobre los proyectos prioritarios que beneficiarán a las subcuencas, las microcuencas o los acuíferos a su cargo en aras de garantizar la protección de las zonas de gran relevancia para la recarga de los acuíferos o para la disponibilidad de agua.

No existe un consenso acerca de que las regiones hidrológico-administrativas (RHA) sean las unidades espaciales más adecuadas para brindar una atención próxima y oportuna. En la práctica, los sectores involucrados en la gestión del agua tienen una visión operativa y no de cuenca. Por ello, estas instancias se concentran en la atención de problemas de corto plazo, en lugar de identificar la manera de garantizar la gestión sustentable de los recursos hídricos. La falta de los recursos económicos y la escasa capacitación, son obstáculos recurrentes en la gestión; además, la toma de decisiones suele privilegiar los criterios políticos más que los ambientales, lo cual ha impactado negativamente la cantidad y la calidad de los recursos hídricos en la cuenca. El hallazgo de estos obstáculos para la cabal implementación de una GIRH complementan algunas de las investigaciones realizadas a escala mundial sobre el funcionamiento de este modelo de gestión (Biswas 2008; GWP 2006).

Arreglos normativos y mecanismos de planeación y monitoreo

Las autoridades y los integrantes del Consejo de Cuenca identificaron que la LAN es la principal disposición normativa que define la gestión del agua. Esto coincide con las disposiciones normativas analizadas en el capítulo anterior. Sin embargo, también reconocen que el agua está en interacción con otros ecosistemas, en particular, los bosques, por lo que además señalan que otras leyes norman la gestión del agua transversalmente como por ejemplo, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA, 1988), la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2018) y la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS, 2001).

Desafortunadamente, aunque es evidente la vinculación que existe entre el agua, el suelo, los ecosistemas y las actividades económicas en estas disposiciones normativas, no se han logrado integrar las instancias respectivas en el Consejo de Cuenca para que participen en la toma de decisiones conjunta sobre la política hídrica. Existen diferencias marcadas en los niveles de conocimiento e información de los marcos normativos. Los representantes gubernamentales son quienes refieren más ampliamente los marcos legales que sustentan la GIRH. Los participantes establecieron en segundo término las leyes de aguas y de servicios de agua potable y saneamiento

de los estados, la protección ambiental y la aplicación de normas ambientales, tanto federales como estatales, los planes hídricos, así como los reglamentos estatales y municipales. La percepción generalizada es que las leyes en sí no presentan problemas, sino su interpretación operativa.

Respecto al marco normativo, los participantes refieren que las instancias involucradas en la gestión del agua tienen bien definidas sus funciones, aunque no todos los actores que laboran en ellas están bien informados sobre el contenido de estos arreglos normativos; en ocasiones, algunas funciones no están delimitadas adecuadamente para algunas instancias, además de que suele haber incumplimiento de las disposiciones normativas por la falta de supervisión y de mecanismos de sanción, así como por la falta de planeación. Esto ha contribuido en parte a que la gestión del agua continúe siendo sectorializada, a que las disposiciones normativas, en particular estatales y locales, no sean vigentes y pertinentes para el contexto actual. Las funciones relevantes que se consideran faltantes son en su mayoría aspectos técnicos y de infraestructura, así como cuestiones de comunicación y difusión entre los involucrados.

Los actores que interactúan con la Conagua a través de los organismos de cuenca y del Consejo de Cuenca identifican con claridad los procesos de planeación. De estos procesos, se han generado documentos con diferentes objetivos y formatos, como planes y programas hídricos, proyectos más específicos, manuales o lineamientos operativos y programas de gestión a diferentes escalas. La profundidad, la calidad y la periodicidad con la que se utilizan dichos mecanismos de planeación, dependen de la propia organización del Consejo de Cuenca y de su vinculación con el organismo de cuenca respectivo. La mayoría de los sectores saben que la Conagua ha proporcionado un manual de procedimiento o guía operativa, pero desconocen su contenido. Además, refieren que no se ha avanzado en la definición de indicadores que permitan evaluar su desempeño, con el fin de determinar el progreso en la atención de las problemáticas en sus respectivas cuencas y los ajustes que se requieren para resolverlos, en caso de que las acciones que se han llevado a cabo hasta el momento no hayan sido efectivas.

Algunas de las problemáticas que han afectado la participación en la planeación, así como en la implementación de mecanismos de monitoreo, es la elevada rotación del personal, asociada con los períodos políticos, lo cual limita la creación de capacidades y el conocimiento del sector; dichos períodos también han restringido realizar una planeación de largo plazo para alcanzar una gestión integral de los recursos hídricos, ya que las prioridades del país, y de las entidades federativas, están sujetas a las visiones e intereses de las nuevas administraciones. La periodicidad con que se actualizan estos planes es, en promedio, anual o dos veces al año, aunque es de resaltar que en las respuestas no hay consenso, lo que puede indicar que no se actualizan o se desconoce el dato.

En las respuestas de los integrantes de estudio se encontró que hay dos formas en las que las actividades de monitoreo se llevan a cabo: las realizadas por la Conagua y

las que desarrollan por su cuenta las entidades y los representantes partícipes. En el primer caso, se ubica el monitoreo de ríos, presas, la calidad del agua urbana y de la industria autoabastecida mediante lineamientos oficiales específicos de evaluación, utilización, aplicación de sanciones y medios de atención a denuncias ciudadanas. En el caso de las entidades, se monitorean sus funciones a través de indicadores de gestión sujetos a auditorías anuales de control y seguimiento, y están condicionados a los recursos asignados, o a los que están bajo la supervisión de comités específicos de evaluación y seguimiento con la misma periodicidad. Tanto los marcos normativos como los de aplicación de sanciones se basan en los marcos vigentes de la Conagua.

A pesar de la capacidad de monitoreo que muestran algunas instancias, la falta de recursos es una limitante para el caso de algunos usos, por lo que se aplican indicadores muy básicos o bien se prescinde de ellos. Las críticas más reiteradas en el rubro de monitoreo se refieren a la secrecía y a la falta de transparencia en el manejo de la información resultante. En general, los resultados sobre los mecanismos de monitoreo de la gestión del agua son parciales y están orientados a identificar problemáticas y soluciones a corto plazo; en algunos casos, los mecanismos de monitoreo logran orientar las acciones y los recursos que se asignarán, pero son pocas las instancias que evalúan su desempeño. A la Conagua se le reconoce como el actor central para la planeación de los recursos hídricos a nivel de cuenca y de subregiones hidrológicas. Sin embargo, es objeto de críticas que se asocian con la falta de coordinación, información, de recursos económicos y con la toma de decisiones discrecionales que no tienen en cuenta los diferentes sectores usuarios.

Transparencia en la asignación de recursos y en los mecanismos de participación

Todos los actores involucrados en la gestión del agua señalaron que la transparencia es una práctica cuya aplicación difiere en cada institución y que su marco normativo es la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública. Otros mecanismos o instancias que promueven la transparencia son el órgano de control interno, las asambleas comunitarias y las auditorías al interior de los Consejos de Cuenca.

Se estableció en las respuestas que, en particular, la Conagua es la instancia responsable de definir los criterios para la asignación de los recursos económicos. Sin embargo, se desconocen los criterios y los montos asignados para las diferentes estrategias de atención a los problemas del agua, por lo cual se destaca la urgente necesidad de implementar estrategias para mejorar la transparencia en la asignación de los recursos y su ejercicio, ya que entre los principales obstáculos que enfrenta la gestión del agua está la asignación discrecional e ineficiente de los recursos, la falta de comunicación y de planeación, la corrupción y la dispersión de acciones por parte de la Conagua. La mayoría de los actores mencionó que los recursos económicos con los

que se cuenta son insuficientes, que llegan tarde, y que tienen restricciones para su ejercicio. También dijeron que desconocen su uso final y que no se da el seguimiento de la eficacia en su asignación. Esta situación ha provocado que no se obtengan los resultados esperados para alcanzar una gestión adecuada. Los recursos materiales tampoco son suficientes para atender las problemáticas más urgentes, lo que indica la falta de planeación para su asignación.

Respecto a la recepción y a la atención de las denuncias ciudadanas, la instancia considerada como la encargada de estas funciones es la Conagua, ya sea en línea, de manera personal o telefónica. Uno de los problemas detectados para atender las denuncias es que no se aplican sanciones por el desperdicio del agua, por el uso poco eficiente o por la contaminación del recurso. Así, no se dan los incentivos correctos para los usuarios que promueven una GIRH.

En el caso de los mecanismos de participación, la mayoría de los entrevistados consideran que el Consejo de Cuenca es el espacio de participación para la toma de decisiones en materia de gestión del agua. Consideran que esa instancia facilita la consulta regular e informada, la participación de diferentes actores en la toma de decisiones, el seguimiento a los acuerdos alcanzados y la elección de los representantes de los usuarios del agua. Sin embargo, los Consejos de Cuenca no han logrado garantizar la participación efectiva de todos sus integrantes, en particular, de aquellos que se encuentran en condiciones económicas restringidas, razón por la que no pueden cubrir los gastos para transportarse y asistir a las reuniones del Consejo de Cuenca y de sus grupos técnicos especializados.

Esto pone en desventaja a los grupos de usuarios cuyos representantes no pueden asistir a las reuniones porque los sectores que sí reciben financiamiento, para que sus representantes asistan –por ejemplo, el sector industrial–, posicionan sus intereses en materia de asignación del agua y requerimientos de infraestructura hidráulica en los primeros lugares. La representatividad de los integrantes del Consejo de Cuenca es otro de los obstáculos que han restringido la participación efectiva e integral de los diversos sectores económicos y sociales en la gestión del agua, ya que algunos grupos consideran que no se encuentran correctamente representados. Esto se explica porque no se ha logrado que la convocatoria para la elección de los representantes sea amplia e incluyente, de tal manera que la sociedad participe en la elección de los vocales que representan sus intereses. Esta situación pone en cuestionamiento la legitimidad y la representatividad de los integrantes del Consejo de Cuenca.

En general, la gestión del agua en México sigue basándose en una perspectiva operativa más que de cuenca. Esto se ha traducido en que los esfuerzos para la atención de los problemas del agua mantengan un enfoque sectorial y disperso y se concentren en problemas concretos con soluciones de corto plazo, en vez de actuar en el ámbito de cuenca con una visión integral y de largo plazo que promueva una

gestión más sustentable del agua. La falta de recursos económicos y la escasa capacitación son obstáculos recurrentes en la gestión, lo que ha repercutido en que las decisiones que se toman se basen en criterios políticos más que en los ambientales, lo cual causa un impacto negativo tanto en la cantidad como en la calidad de los recursos hídricos en la cuenca.

A partir de lo planteado aquí, el siguiente apartado toma una perspectiva más puntal y comparativa sobre lo siguiente: la pertinencia de los arreglos institucionales, el conocimiento sobre el enfoque de la GIRH, la existencia de mecanismos de planeación, monitoreo y supervisión que apoyan la gestión, las condiciones que permiten una participación efectiva y las estrategias para garantizar la transparencia en la asignación y la toma de decisiones en las tres subregiones hidrológicas analizadas.

Los retos de la implementación de la gestión integral del agua en las subregiones de estudio

En este apartado se habla sobre los consensos y los discensos en la gestión del agua en las tres subregiones hidrológicas analizadas a partir de la comparación puntal de elementos clave que definen la comprensión que los actores tienen de la GIRH y de sus prácticas considerando aspectos relacionados con la coordinación, planeación, orientación de los recursos, mecanismos de monitoreo y supervisión, transparencia y participación efectiva e informada. Este análisis permite detectar los aspectos que necesitan fortalecimiento en los diferentes niveles de gobierno; no obstante, donde se encuentran los principales obstáculos que han limitado su cabal implementación es en la operación de la GIRH.

Conceptualización de la GIRH y sus elementos

La Subregión Hidrológica Río San Juan (SRH-RSJ), la del Valle de México (SRH-VM) y la del Bajo Grijalva (SRH-BG) llegan a consenso sobre la manera en que entienden la GIRH. La definen como la integración de los recursos humanos, ambientales y económicos. Esta conceptualización es claramente dominante entre las autoridades federales (como la Conagua), las comisiones estatales y los usuarios acuícolas, agrícolas, forestales, industriales y pecuarios, y en el caso de la SRH-BG también para los sectores de la sociedad organizada, las mujeres y los indígenas (50.46 % del total de los entrevistados). Esta definición coincide con la definición propuesta por la Asociación Mundial del Agua (GWP, 2008) y por la LAN (LAN, 1992, art. 3-XXIX).

La segunda forma más común de conceptualizar la GIRH se vincula con los procesos de planeación, toma de decisiones y monitoreo en los que los diferentes sectores están involucrados (16.66 %). Coincidieron con esta definición los usuarios de los sectores académico y doméstico-público urbano.

En tercer lugar, y en particular mencionada por los organismos auxiliares del Consejo de Cuenca, la definición de la GIRH se relaciona con el uso racional del agua en el corto, mediano y largo plazo. El sector de los servicios y los organismos de cuenca coincidieron en que la GIRH son todas aquellas medidas que permiten corregir desequilibrios entre la oferta y la demanda de los recursos hídricos (12.61 % del total de las respuestas). No obstante, aproximadamente tres por ciento desconoce el término de GIRH, en particular, los sectores acuícola y de servicios (ver cuadro 2). La forma de conceptualizar en qué consiste la GIRH refleja en parte las funciones que cada sector realiza. En general, las autoridades y los integrantes del Consejo de Cuenca tienen conocimiento claro sobre las implicaciones de la GIRH y los elementos que la conforman, aunque es necesario trabajar para consolidar la cultura del agua con una visión de cuenca, de tal manera que los diferentes actores que participan en el Consejo de Cuenca tengan clara la relevancia de su participación y la vinculación de las decisiones en el ámbito económico, social y ambiental.

Cuadro 2. Definición de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)

<i>Definición</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
	<i>Porcentaje</i>			
Medidas para corregir desequilibrios entre la oferta y la demanda de los recursos hídricos.	13.20	8.30	18.30	12.61
Uso racional del agua en el corto, mediano y largo plazos.	18.75	12.20	8.30	13.29
Integración de elementos sociales, económicos y ambientales.	46.53	56.10	46.70	50.46
Proceso de planificación, toma de decisiones y monitoreo.	15.97	10.60	26.70	16.66
Medidas para determinar la calidad del agua y evitar su contaminación.	2.78	11.10	0	5.40
Desconoce.	2.78	1.70	0	1.58

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Es importante mencionar que el grupo mayoritario de los actores, conformado por los usuarios acuícola, agrícola, pecuario e industrial (29.24%), considera que la Conagua es la principal instancia por medio de la cual se lleva a cabo la gestión del agua. Sin embargo, este grupo también reconoce que deberían participar todos los actores involucrados de manera más activa, incluyendo a los organismos auxiliares del Consejo de Cuenca, las comisiones estatales y la sociedad organizada, para lo cual se requiere crear las condiciones que lo permitan, empezando por los Consejos de Cuenca (18.01%). Sin embargo, los Consejos de Cuenca no son los únicos

espacios de participación que requieren ser fortalecidos. La Conagua reconoce que la GIRH requiere la colaboración y la coordinación entre los diferentes actores que participan en la toma de decisiones sobre el agua, incluyendo no sólo a la propia Conagua, sino también a los gobiernos estatales y locales, a los Consejos de Cuenca y sus organismos auxiliares, y a la sociedad en general.

Los usuarios doméstico, público-urbano y forestal refieren que las instancias que se encargan de la GIRH son el gobierno en sus tres niveles (federal, estatal y municipal) y las secretarías de Estado, en particular la Semarnat, entre las que destaca el gobierno local por tener mayor cercanía con la población. Lo anterior pone en evidencia que la gestión del agua sigue estando centralizada, puesto que los Consejos de Cuenca y los organismos auxiliares, instancias en verdad centrales para la GIRH, prácticamente no fueron mencionados. Lo mismo ocurrió con los organismos de cuenca, que son la autoridad operativa a partir de la cual se realiza la gestión en las regiones hidrológico-administrativas correspondientes (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Instancias a partir de la cual opera la gestión del agua

<i>Instancias/organizaciones</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
Los usuarios	7.71	6.70	15.30	9.33
Conagua	31.60	32.80	21.10	29.24
Organismos operadores	0	0	2.50	0.68
Organismos de cuenca	1.88	1.10	9.50	3.63
Consejos de Cuenca	6.60	6.70	10.70	7.73
Comisiones estatales de agua	10.21	7.80	0	6.46
Gobiernos (municipal, estatal, federal)	16.32	22.80	15.80	18.79
Secretarías	17.01	13.30	15.30	15.05
Todos los actores relacionados con el agua	6.34	24.40	12.60	18.01

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

No existe un conceso en si la estructura administrativa para la gestión del agua cuenta con una cobertura territorial adecuada que permite una atención próxima y oportuna. Los actores (los usuarios industrial, de servicios y pecuario, así como las comisiones estatales, los organismos de cuenca y la Conagua) que piensan que sí es adecuada (55.58 % del total) consideran que por ser agua se gestiona por medio de las regiones hidrológico-administrativas a través de los organismos de cuenca, que se apoyan en los Consejos de Cuenca, y que este protocolo produce la eficiencia de la administración de los recursos hídricos.

Por otro lado, los usuarios acuícola, forestal, doméstico-público urbano, indígenas y los organismos auxiliares (44.41 %) consideran que la estructura no es adecuada para atender las problemáticas del agua, ya que la gestión tiene límites político-administrativos y no se basa en criterios ambientales para la toma de decisiones. Además, no cuenta con las capacidades humana y económica para velar por la conservación de las zonas de recarga, y que sólo se da atención a los problemas graves sin implementar medidas de prevención. No se cuenta con una vinculación clara con la Conafor para la protección de los bosques y selvas en México, los cuales son proveedores de agua. Como se ha mencionado en el capítulo anterior, los marcos normativos estatales no incorporan la visión de cuenca, y falta coordinación y colaboración entre las instancias y los actores involucrados en la gestión del agua.

La Ley de Aguas Nacionales se identifica como el mecanismo normativo que sustenta la GIRH (mencionado por 53.5% de las autoridades e integrantes del Consejo de Cuenca). Otras disposiciones que guían la GIRH, mencionadas por los actores, incluyen el artículo 27 constitucional, los principios de la GIRH definidos en la Agenda 21 y los principios de Dublín. Algunos (6.9 %) mencionaron el Plan Nacional Hídrico (Programa Nacional Hídrico 2014-2018) (Semarnat y Conagua, 2014), aunque éste se trate de un mecanismo de planeación. Desafortunadamente, un número importante de actores (25.4 %) desconoce los arreglos normativos que rigen la gestión del agua, a pesar de que son representantes de los usuarios o vocales gubernamentales en el Consejo de Cuenca. Otra problemática, adicional al desconocimiento sobre la normatividad, está relacionada con la falta de una definición clara y precisa de las funciones (facultades y obligaciones) de las diferentes instancias responsables de la gestión del agua.

Existe una opinión dividida sobre si los arreglos normativos están bien definidos (es decir, si son precisos y se encuentran desglosados correctamente); una parte importante de los integrantes del Consejo de Cuenca consideran que sí lo están (54 %), mientras que el resto (46 %) mencionó que hay algunas problemáticas que requieren atención, como la falta de claridad en el quehacer de las instancias estatales y municipales para alcanzar la GIRH y el desconocimiento –por parte de las instancias responsables de la gestión del agua– sobre dichas funciones y obligaciones. Aunado a esto, hay desinterés en el cumplimiento de las normas debido a que la gestión del agua obedece criterios políticos. La falta de supervisión y de sanciones para los infractores, y los propios recortes presupuestales, impiden llevar a cabo las obras públicas conforme lo marca la legislación en la materia (ver cuadro 4).

Entre las principales estrategias para resolver las problemáticas mencionadas, destaca la necesidad de capacitar a los funcionarios involucrados en la gestión del agua en aras de que tomen mejores decisiones para promover la GIRH y que haya mayor acercamiento institucional para determinar las problemáticas del agua específicas para cada lugar y se les dé atención. Es indispensable que se vinculen los

planes hídricos con los planes territoriales para lograr la visión de cuenca, y es necesario ampliar las capacidades operativas de los Consejos de Cuenca y fortalecerlos para que éstas sean eficientes. Una visión de cuenca exige la descentralización de la gestión del agua con el objetivo de crear las condiciones para una participación activa, informada y eficaz.

Cuadro 4. Efectividad de los arreglos normativos para la gestión del agua

<i>Efectividad de los arreglos normativos</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
	<i>Porcentaje</i>			
Está claro el quehacer del gobierno federal, pero no el de las instancias estatales y municipales.	13.60	41.70	33.30	25.40
Sí están bien definidas, precisas y desglosadas.	77.30	16.70	45.80	54
Son claras, pero las instancias y los responsables no están bien informados.	9.10	0	20.80	8.70
Están definidas, pero las acciones implementadas no están orientadas a atender la gestión, sino las cuestiones políticas.	0	8.30	0	2.40
No respondió.	0	33.30	0	9.50

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Coordinación

En relación con los mecanismos de coordinación, los tomadores de decisiones en las subregiones hidrológicas analizadas encuentran varias instancias clave para esta función, pues promueven la coordinación y la colaboración entre las diversas instituciones y actores para la gestión del agua. Destaca la Conagua como la principal instancia gubernamental de coordinación intersectorial y multinivel a partir de la cual se promueve la GIRH por medio de sus gerencias técnicas y los organismos de cuenca (18.1 % del total de los entrevistado), en particular por los representantes de los usuarios del sector académico, doméstico-público urbano, pecuario, de servicios, la sociedad organizada y los indígenas (ver cuadro 5). Esto le otorga un papel fundamental en la gestión del agua a la GIRH, pero pone en evidencia que las asambleas ejidales y comunales no se consideran mecanismos de coordinación para la toma de decisiones en materia de agua en las zonas menos urbanizadas.

Cuadro 5. Mecanismos de coordinación intersectorial y multinivel

<i>Mecanismos</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
	<i>Porcentaje</i>			
Conagua.	12.50	26.30	14.90	18.10
Consejos de Cuenca, organismos auxiliares y grupos especializados.	12	14.90	14.90	13.90
Gobiernos (municipal, estatal y federal).	11.60	7.50	16.30	11.50
Módulos de riego.	2.50	0	0	0.90
Organizaciones de la sociedad civil.	1	3.80	2	2.30
Organismos operadores.	3.30	0	9	3.80
Comisiones de agua estatales.	1	0	0	0.40
Secretarías.	6.80	13.20	6	8.90
No hay coordinación.	6.20	8.30	0	5.10
No sabe/desconoce.	12	15.30	10	12.60

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Varios actores mencionaron que la gestión del agua en México está centralizada en la Conagua y que no existen los suficientes mecanismos de coordinación entre las diferentes instancias para realmente lograr una gestión integral debido a la falta de espacios de participación y de recursos económicos, pues los Consejos de Cuenca son meramente protocolarios y por esa razón no atienden las prioridades de los usuarios ni se encargan de la conservación de los recursos hídricos. Cabe mencionar que a los Consejos de Cuenca suelen asistir los representantes y no los funcionarios de alto nivel, por lo tanto, su capacidad para tomar dediciones y definir acuerdos concretos está limitada, lo que obstaculiza la atención de las problemáticas planteadas.

A pesar de ello, los Consejos de Cuenca, junto con sus organismos auxiliares y grupos especializados, fueron considerados como el segundo mecanismo más relevante para la coordinación intersectorial y multinivel (13.9% del total). Esto fue reconocido por la propia Conagua; sin embargo, no se han creado condiciones para fortalecer el funcionamiento de los Consejos de Cuenca y su participación en la toma de decisiones, debido a que no se cuenta con recursos económicos y técnicos suficientes ni mecanismos que permitan la adecuada representatividad y la participación efectiva de todos los actores involucrados (véase cuadro 5).

Los actores refirieron en tercer lugar que los tres niveles gubernamentales (federal, estatal y municipal) son las instancias relevantes para la coordinación de la gestión del agua (11.5 %), aunque mencionaron que sus capacidades técnicas, las de recursos humanos y las económicas estaban sobrepasadas para dar seguimiento

y resolver las problemáticas más relevantes, por lo que se requiere una participación más activa. Otros mecanismos de coordinación mencionados, con un porcentaje de reconocimiento menor, son los módulos de riego, las organizaciones de la sociedad civil, los organismos operadores, las comisiones estatales de agua y las secretarías de estado, entre las que destacan Semarnat y Sagarpa. Cabe mencionar que el sector agrícola nombró a los módulos de riego, en colaboración con la Conagua, como mecanismos de coordinación.

Por otro lado, el sector forestal, las instancias encargadas de la conservación y el manejo de los bosques y las selvas del país no están siendo consideradas en la toma de decisiones en materia de agua, lo cual es una importante limitación para garantizar una GIRH, ya que, precisamente, estos ecosistemas son considerados como las fuentes de agua debido a los servicios ecosistémicos que prestan. Por lo anterior, la conservación de los ecosistemas debe ser una prioridad tanto para las autoridades responsables de la gestión del agua como para los representantes de los usuarios.

Sin embargo, esta situación pone en evidencia que todavía no hay una cabal comprensión de lo que implica la GIRH. Algunos actores reportaron que no existen mecanismos de coordinación (5.1 %) o que desconocen la existencia de dichos mecanismos (12.6 %); en particular, este desconocimiento se registró en la SRH-BG, seguido por la SRH-VM, situación que evidencia la falta de claridad en la información que ofrecen las instancias que participan en la gestión del agua sobre cómo pueden coordinarse y colaborar para el establecimiento y la solución de los principales problemas del agua (véase cuadro 5).

Planeación

En el tema de la planeación para la toma de decisiones de la GIRH, los mecanismos de planeación más utilizados son los Consejos de Cuenca, informan los actores (55.10 %) con apoyo de sus organismos auxiliares y grupos especializados, los cuales se reúnen periódicamente para evaluar la condición en que se encuentran los recursos hídricos, además de definir las estrategias de planeación, garantizar su acceso en cantidad suficiente y con calidad, y de controlar la contaminación e inundaciones; problemáticas que repercuten en el bienestar de la población y en el desarrollo de sus actividades económicas.

Esta percepción tiene un consenso amplio entre los diferentes sectores involucrados en la gestión del agua, entre los que se incluyen los usuarios de los sectores académico, acuícola, agrícola, público-urbano, pecuario y sociedad organizada, así como a la propia Conagua, los organismos de cuenca y las comisiones estatales de agua. A pesar de la relevancia y del reconocimiento que los Consejos de Cuenca tienen en la planeación de la gestión del agua, como lo expresaron los actores mencionados, no se han creado las condiciones económicas ni técnicas que permitan la incidencia

efectiva de estas instancias en la toma de decisiones; esta situación ha dificultado de manera determinante la correcta implementación del modelo de la GIRH.

Otro de los mecanismos de planeación, también mencionado por un grupo amplio de autoridades e integrantes del Consejo de Cuenca (32.30 %), es el desarrollo de los planes hídricos y de los programas para atender alguna problemática concreta en materia de agua (inundaciones, contaminación y falta de abastecimiento). En particular, estos mecanismos de planeación son reconocidos por los integrantes de la SRH-BG y en general por los usuarios industriales, de servicios y el sector de mujeres de la SRH-BG. En parte esto se explica porque estos sectores han sido convocados frecuentemente a los ejercicios de planeación, cuyas estrategias y líneas de acción han sido puestas en marcha para atender las problemáticas identificadas en los diagnósticos. Cabe mencionar que las asambleas comunitarias, aunque no fueron identificadas como mecanismos para la coordinación, sí se mencionaron como mecanismos para la planeación de los recursos hídricos, en particular para los usuarios que participan en estos esquemas de organización, como los usuarios forestales e indígenas (ver cuadro 6).

Cuadro 6. Mecanismos de planeación

<i>Mecanismos</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>		<i>Total</i>
			<i>Porcentaje</i>		
Asamblea comunitaria (comunidades rurales).	4.76	8.70	0		5.10
Consejos de Cuenca, sus organismos auxiliares y grupos especializados (reuniones periódicas).	45.83	73.95	51.78		55.10
Talleres con participación ciudadana, que incluyen el desarrollo del Plan Hídrico.	20.83	60.87	19.64		32.30
Ordenamiento ecológico de la cuenca.	0	8.70	0		2.50
Proyectos regionales (Monterrey VI).	2.38	8.70	7.14		5.10
No mencionó una en específico (general).	9.52	4.35	21.43		10.10

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

La mayoría de las autoridades e integrantes del Consejo de Cuenca (78.38 %) llegaron al consenso de que se han llevado a cabo procesos participativos de planeación para la toma de decisiones sobre la GIRH en las cuencas analizadas (usuarios de los sectores académico, forestal, doméstico-público urbano, de servicios, sociedad organizada, mujeres e indígenas, Conagua, organismos de cuenca y órganos auxiliares), aunque los usuarios pecuarios, acuícolas e industriales de la SRH-BG, al igual que los usuarios agrícolas y la Comisión Estatal del Agua de la SRH-RSJ, mencionan que no se han realizado procesos participativos de planeación debido a que la toma de decisiones sigue siendo discrecional, reactiva y centralizada en la Conagua.

En general, los documentos resultantes de estos procesos de planeación incluyen los planes y los programas hídricos a diferentes escalas, las actas (minutas) de las sesiones del Consejo de Cuenca y sus grupos técnicos especializados, el establecimiento de tarifas o faenas, los manuales de procedimientos y las propuestas de proyectos de inversión. La mayoría de las autoridades (54.1 %) (Conagua, los organismos auxiliares, los organismos de cuenca, comisiones estatales, los usuarios de los sectores de servicios, las mujeres e indígenas) dijo que existen documentos que guían la planeación, como manuales de procedimientos, guías operativas o de lineamientos de operación. Sin embargo, casi la mitad de los actores entrevistados mencionaron que desconocen la existencia de estos documentos (45.9 %), y lo mismo sucedió entre los representantes de los usuarios de las tres cuencas evaluadas (académico, acuícola, agrícola, forestal, doméstico-público urbano, industrial y pecuario).

Se recomienda para fortalecer la planeación de la GIRH la estrategia de incluir en los planes de desarrollo municipal los objetivos y las prioridades del plan hídrico, de manera que se vincule la gestión del agua con la territorial. Además, se sugiere que se cuente con los recursos económicos que garanticen la implementación de los planes hídricos, así como los proyectos que se especificaron y acordaron en los Consejos de Cuenca. Se requiere mayor difusión de la información sobre la situación en que se encuentran los recursos hídricos en las cuencas respectivas, en aras de que la participación en la planeación de los actores sea informada. Se necesita también crear los espacios que permitan la mayor participación social en la planeación hídrica. Debido a que los participantes establecieron que los Consejos de Cuenca son los espacios para la planeación participativa, se debe considerar su fortalecimiento técnico y económico para que logren el cumplimiento de sus acuerdos, con el fin de progresar en la implementación de la GIRH.

Orientación de los recursos

La asignación de los recursos permite conocer los criterios que influyen en la toma de decisiones sobre la gestión del agua y las prioridades. En general, de acuerdo con las autoridades y los integrantes del Consejo de Cuenca, se hallaron diversos criterios que determinan la asignación de los recursos: aspectos técnicos, prioridades de uso, población beneficiada, asignaciones anteriores y, evidentemente, también criterios de índole política. La mayoría de los entrevistados mencionó que la asignación de los recursos está sujeta a las líneas de acción establecidas en los programas correspondientes (32%); por ende, comentan que es la Conagua la que define los criterios de asignación con base a su presupuesto y programación. En particular, los sectores que coinciden con esta percepción son las autoridades: la Conagua y los organismos de cuenca, así como los sectores académico, acuícola, forestal, industrial e indígena.

Otro de los criterios reportados por los entrevistados es la asignación del presupuesto con base en las prioridades de uso, tomando en cuenta como sector prioritario el consumo doméstico, y en segundo lugar las actividades económicas (19.12 %). La asignación del presupuesto también está sujeto a las obras de infraestructura que se realizarán para atender las problemáticas de abasto de agua potable, el desalojo y el tratamiento de las aguas residuales (4.90 %). Esta respuesta tuvo un consenso entre los organismos de cuenca y la sociedad organizada (ver cuadro 7).

Cuadro 7. Orientación de los recursos para la gestión del agua

<i>Mecanismos</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
	<i>Porcentaje</i>			
Asignación discrecional basada en criterios políticos (la visita del gobernador).	6.26	4.20	3.30	4.65
Depende de la población total beneficiada.	12.49	12.50	3.30	9.80
Basado en el ejercicio de los recursos en períodos anteriores.	5.54	0	8.30	4.40
La determina la Conagua según su presupuesto y programación.	31.95	33.30	32.50	32.60
Con base en las obras a realizar para abasto de agua potable y desalojo de aguas residuales.	2.75	8.30	3.30	4.90
Por la prioridad del uso, tomando como principal el consumo humano y después el de producción.	24.32	8.30	25.90	19.12
No sabe/desconoce.	16.69	33.30	23.40	24.53

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Entre los criterios técnicos, se encuentra la asignación del presupuesto con base en las necesidades humanas y la población beneficiada (9.80 %). Esto es identificado principalmente por los representantes del uso doméstico-público urbano y los organismos auxiliares de las tres cuencas. Algunos representantes de las tres cuencas consideran que la asignación de los recursos está sujeta a criterios discrecionales vinculados con los intereses políticos. Aunque esta respuesta no es predominante, entrevistados de los diferentes sectores y autoridades (27.78 %) mencionaron que el criterio que se sigue para la asignación de presupuesto en la gestión del agua es discrecional y suele sujetarse a períodos políticos. Definir con claridad los criterios de asignación en las cuencas y divulgarlos para que sean del conocimiento de todos

los actores que participan en la gestión del agua contribuirá a fortalecer la GIRH. De entre el grupo de respuestas, destaca el desconocimiento de varios representantes de los usuarios (24.53 %) sobre la manera en que se asignan los recursos, problema que se acentúa en la SRH-BG (ver cuadro 7).

De manera similar, en cuanto a la mención de los criterios de asignación, en general, las autoridades (Conagua, organismos de cuenca y comisiones estatales) consideran que los recursos económicos son suficientes para avanzar hacia la GIRH; los usuarios de los sectores acuícola (SRH-VM), agrícola (SRH-VM y SRH-RSJ) y forestal (SRH-VM y SRH-BG) (27.78%) comparten esta visión. Sin embargo, no precisan qué objetivos se han alcanzado, y mencionan que la población ha recibido beneficios por el suministro de agua. Contrario a esta percepción, el resto de los usuarios (doméstico-público urbano, industrial, organismos auxiliares, pecuario, servicios, mujeres e indígenas) reportaron que la asignación de recursos económicos no es suficiente para atender las diversas problemáticas del agua en sus regiones, y algunos mencionan que estos objetivos se han alcanzado de manera parcial (12.16 %). De entre los funcionarios, algunos mencionaron que valorar la eficacia de la asignación de los recursos económicos se dificulta debido a que el presupuesto suele utilizarse para atender los problemas inmediatos, lo que provoca la carencia de una visión de largo plazo (ver cuadro 7).

Una problemática detectada tanto por las autoridades como por los integrantes del Consejo de Cuenca es que los constantes recortes presupuestales han afectado las medidas implementadas para atender los problemas del agua, como la construcción de infraestructura o su mantenimiento. Esta situación cada vez está más acentuada, por lo que se han visto disminuidos los recursos económicos disponibles para la gestión de agua, a pesar de que los problemas asociados con el suministro, el drenaje y el tratamiento de agua son cada vez más complejos y sus soluciones más costosas y de corto plazo. Otras dificultades para la asignación eficaz del presupuesto en relación con la GIRH incluyen la falta de planeación, la poca congruencia entre las funciones realizadas en relación con el presupuesto asignado, la corrupción y la falta de transparencia.

En referencia a la asignación de recursos humanos, sólo las comisiones estatales (en particular de la SRH-VM y de la SRH-RSJ), los usuarios agrícolas (en la SRH-RSJ) y el sector industrial (en la SRH-VM) consideran que son suficientes para la gestión del agua. Dichos actores opinan que esta respuesta parte de la idea de que la gestión del agua se reduce al suministro de agua, por lo que carece de una visión integral. De manera contraria, los organismos de cuenca y los organismos auxiliares consideran que las atribuciones que tienen están sobrepasadas debido al poco personal, a su elevada rotación o su falta de capacitación.

Otros problemas que afectan los recursos humanos disponibles en la gestión del agua son la elevada concentración del personal a nivel federal (en la Conagua),

mientras que a nivel local los recursos humanos son insuficientes para atender las problemáticas prioritarias, los recortes de personal, la llegada tardía de los recursos para realizar las funciones de gestión respectiva (problema particularmente mencionado por los organismos auxiliares); adicionalmente, el incremento de la población hace que se requieran más recursos económicos y humanos para cubrir sus demandas.

En el caso de los recursos materiales, la insuficiencia o mala administración limita llevar a cabo las acciones necesarias para la implementación de la GIRH en cuanto a construcción y mantenimiento de las obras. Al igual que con los recursos humanos, los recursos materiales también se encuentran concentrados a nivel federal, y no existen mecanismos claros de planeación, asignación ni monitoreo de sus usos. Además, los inconvenientes sobrepasan las capacidades operativas con las que actualmente cuenta el sector. Entre las sugerencias mencionadas por los entrevistados para mejorar la asignación y la disponibilidad de estos recursos, destacan dotar a los municipios con mayores recursos para que puedan contribuir en la implementación de la GIRH, la planeación de largo plazo para el uso de estos recursos, la implementación de mecanismos de monitoreo y de asignación para evitar la corrupción y el uso discrecional y crear procedimientos para hacer efectiva la transparencia en las decisiones que se tomen sobre los recursos disponibles.

Monitoreo y supervisión de la gestión

El monitoreo es clave para evaluar el desempeño y el alcance de las estrategias de gestión. Sus mecanismos tienen un rol crucial para redireccionar el actuar de la política del agua con el fin de alcanzar los objetivos planteados en cada caso. La mayoría de los entrevistados mencionaron que sí existen mecanismos de monitoreo de los avances de la gestión del agua (66.36 %), aunque no fueron contundentes al indicar en qué consisten dichos mecanismos. Entre los sectores que mencionaron que los mecanismos de monitoreo son eficaces para promover la GIRH, se encuentran la Conagua, los organismos de cuenca y las comisiones estatales (ver cuadro 8).

Para los representantes de los usos agrícola, doméstico, pecuario, servicios, sociedad organizada y mujeres, el monitoreo puede mejorarse con el fin de retroalimentar efectivamente la toma de decisiones para la gestión del agua y para que se realicen los ajustes necesarios en el actuar de la función pública y en el funcionamiento de los Consejos de Cuenca. Los principales mecanismos identificados para darle seguimiento a la gestión del agua tienen un carácter administrativo. Destacan las actas de las reuniones del Consejo de Cuenca y su seguimiento por medio de su Comisión de Operación y Vigilancia (COVI) (21.33% del total) y la elaboración de informes sobre los alcances de los planes de trabajo (25.74%), la primera identificada por los organismos de cuenca y los órganos auxiliares, y la segunda, por la Conagua.

Cuadro 8. Mecanismos de monitoreo

	SRH-VM	SRH-BG	SRH-RSJ	Total
<i>Mecanismos</i>	<i>Porcentaje</i>			
Seguimiento de las actas de acuerdos de las reuniones.	22.42	14.82	33.37	21.33
Mediante el comité de evaluación y seguimiento (desempeño).	6.89	11.08	8.33	8.81
Supervisando obras de infraestructura (auditorías).	3.45	14.82	0	7.36
Revisión y comparación entre recursos y el alcance de los objetivos.	6.89	11.11	8.26	8.81
Realizando informes, reportes de los avances alcanzados con base en los planes de trabajo.	29.31	25.93	16.68	25.74
Realizando monitoreo del uso del agua.	31.04	22.23	33.36	27.95

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Complementado este enfoque administrativo, otros mecanismos referidos por las autoridades y los integrantes del Consejo de Cuenca se enfocan en el desempeño del comité de evaluación y seguimiento (8.81 %) y la supervisión de las obras de infraestructura mediante auditorías (8.81 %). Las autoridades encargadas de la gestión del agua (Conagua, organismos de cuenca y comisiones estatales) destacan que la estrategia para evaluar sus niveles de eficiencia y efectividad es comparar los recursos asignados con el alcance de sus objetivos (8.81 %). Evidentemente, la periodicidad con la que se realice el monitoreo es crucial para que éste sea efectivo, pero los entrevistados mencionaron diferentes plazos, desde un mes hasta dos años (43.68 %), dependiendo de la duración de un proyecto (19.38 %), o definitivamente no se llevan a cabo (36.94 %) (ver cuadro 8).

Lo anterior pone en evidencia que estos mecanismos todavía no se encuentran cabalmente institucionalizados o no se realizan de manera permanente, además de que presentan otros obstáculos: la falta de transparencia para evaluar el desempeño de las autoridades, la discrecionalidad en la ejecución de los planes y en el uso de los recursos debido a criterios de índole política, la orientación de la gestión a atender problemas del momento con una visión reactiva y la falta de coordinación y de comunicación entre las diferentes instancias y actores involucrados en la gestión del agua.

Algunos entrevistados llegan a confundir el monitoreo con la planeación cuando mencionan diversos instrumentos de planeación como mecanismos de monitoreo (por ejemplo, los programas hídricos). Los sectores académico, forestal, industrial e indígena, así como los organismos auxiliares, reportan la falta de instrumentos de monitoreo. Desafortunadamente, mientras no se reorienta ni se considere el monitoreo

una estrategia crucial para evaluar el desempeño de la gestión del agua, seguirá utilizándose como un instrumento meramente administrativo y, por lo tanto, sus resultados serán muy limitados para promover la correcta implementación de la GIRH.

Transparencia y rendición de cuentas

Es fundamental tener disponibilidad de mecanismos para la transparencia y la rendición de cuentas, para que todas las decisiones gubernamentales y administrativas estén al alcance del público en forma clara, accesible y veraz. Un segmento importante de los sectores entrevistados en las tres cuencas (75 %) mencionó la existencia de este tipo de mecanismos en su relación con los organismos de cuenca y con los Consejos de Cuenca correspondientes. A nivel individual, la SRH-VM y la SRH-RSJ mostraron niveles superiores, pues se encontró mayor visibilidad de este tipo de estructuras en concordancia con los niveles comparativos de información. Los mecanismos de transparencia más conocidos son la Ley de Transparencia y Acceso a la Información, así como los informes de contraloría de las dependencias participantes (79 %).

La disponibilidad de estos instrumentos en línea también fue confirmada por una proporción importante de respuestas afirmativas (44.4 %) que ubicaron la página de la Conagua como la fuente principal de dicha información (36.84 %). Quedaron en segundo término las páginas de las diferentes dependencias en internet (26.32 %); una proporción igualmente importante de opiniones coincidió en que hay dificultad para ubicar dicha información, lo que constata su falta de accesibilidad (26.32 %) (ver cuadro 9). Lo anterior ofrece una ventana de oportunidad al sector para socializar las decisiones de gestión, sus alcances y la asignación de los recursos. Nuevamente la SRH-VM y la SRH-RSJ dejan entrever mayores niveles de conocimiento sobre la existencia y la disponibilidad de los mecanismos para la transparencia y la rendición de cuentas.

La disponibilidad de la normatividad aplicable para dar a conocer los resultados de las actividades y de los acuerdos o minutas en línea se incluyen en esta sección, al igual que el conocimiento de otras formas de divulgación en cada caso. En todos los casos, la proporción de las respuestas afirmativas no rebasó 50 %, lo que refleja, por un lado, la falta de disponibilidad de información a través de las vías mencionadas y, por otro lado, el desconocimiento de posibles opciones alternas para la divulgación de la misma. De forma individual, se mantiene la SRH-VM con los mejores niveles de conocimiento sobre las opciones planteadas y, en contrapartida, la SRH-BG tiene una proporción mayor de respuestas no afirmativas. En cuanto a las formas alternas posibles, los mecanismos utilizados por la Conagua para la divulgación fueron los más comentados por las autoridades y los integrantes de Consejo de Cuenca (20 %); sin embargo, existe el desconocimiento sobre los mecanismos por medio de

los cuales se puede tener acceso a información sobre la gestión del agua (50 % respondió que desconoce mecanismos concretos para la divulgación de esta información) (ver cuadro 9).

Cuadro 9. Mecanismos de transparencia y rendición de cuentas

	SRH-VM	SRH-BG	SRH-RSJ	Total
<i>Mecanismos</i>	<i>Porcentaje</i>			
En la página de la Conagua.	38.89	50	25	36.84
En la página de internet de las dependencias.	16.67	25	41.70	26.32
En el <i>Diario Oficial de la Federación</i> .	5.56	0	0	2.63
Están disponibles de manera física pero no electrónica.	11.11	0	8.30	7.89
Pero no son fáciles de encontrar.	27.78	25	25	26.32

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Participación efectiva e informada

La participación informada es imprescindible para la buena gobernanza en el contexto de la GIRH. En esta sección se analiza la disponibilidad de mecanismos que permiten la consulta regular e informada entre los actores involucrados en la GIRH, su participación, el seguimiento de acuerdos, así como la representatividad de los usuarios y la sociedad. En términos generales, la mayoría de los entrevistados expusieron que hay mecanismos de participación para la toma de decisiones en materia de agua (89.13 %), aunque la percepción sobre su efectividad y su representatividad varía entre los sectores.

La mayoría de los informantes (65.49%) describió que los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares son los espacios principales de participación para la gestión del agua, por medio de la elección de los representantes de los diferentes usos, quienes transmiten en las reuniones del consejo o en los grupos de trabajo especializados las prioridades y las contrariedades de los sectores a los que pertenecen en materia de agua. Entre otros mecanismos de participación, se incluyen los foros de consulta, los talleres de capacitación, los congresos, la radio y la televisión (8.69 %). Una proporción relativamente baja (10.87 %), en particular los sectores de servicios en la SRH-VM y los sectores pecuario, agrícola y acuícola en la SRH-BG, no mencionaron mecanismos que favorecieran la participación social en la gestión del agua (ver cuadros 10, 11 y 12).

Cuadro 10. Mecanismos de transparencia y rendición de cuentas

	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
<i>Mecanismos</i>	<i>Porcentaje</i>			
Seguimiento de las actas de acuerdos de las reuniones.	22.42	14.82	33.37	21.33
Mediante comité de evaluación y seguimiento (desempeño).	6.89	11.08	8.33	8.81
Supervisando obras de infraestructura (auditorías).	3.45	14.82	0	7.36
Revisión y comparación entre recursos y el alcance de los objetivos.	6.89	11.11	8.26	8.81
Realizando informes, reportes de los avances alcanzados con base en los planes de trabajo.	29.31	25.93	16.68	25.74
Realizando monitoreo del uso del agua.	31.04	22.23	33.36	27.95

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Cuadro 11. Mecanismos para la divulgación de los resultados de la gestión del agua¹

	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
<i>Mecanismos</i>	<i>Porcentaje</i>			
En página web (Consejo de Cuenca).	21.43	0	0	8.57
El teléfono de la Conagua y su página web.	21.43	11.10	33.30	22.86
A través de atención ciudadana a nivel municipal.	14.29	11.10	25	17.14
No respondió/desconoce.	42.86	77.80	41.70	51.43

¹ Incluye la normatividad aplicable, los resultados de las acciones de gestión, así como los acuerdos o minutas de las reuniones del consejo de cuenca.

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

Cuadro 12. Mecanismos de participación

<i>Mecanismos</i>	<i>SRH-VM</i>	<i>SRH-BG</i>	<i>SRH-RSJ</i>	<i>Total</i>
	<i>Porcentaje</i>			
Asambleas del Consejo de Cuenca y sus órganos auxiliares.	61.11	62.17	80.26	65.49
Talleres de capacitación.	2.78	18.90	0	8.69
Medios de comunicación (radio y televisión) para diversas convocatorias.	18.05	12.17	14.47	14.95
No respondió/desconoce.	2.78	16.23	15.79	10.87

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas realizadas a los integrantes de los Consejos de Cuenca.

La representatividad es otro aspecto notorio en los resultados de esta sección, tanto globalmente como a nivel de cada cuenca. La alta proporción de las respuestas afirmativas a esta pregunta (71 %) apunta a que hay un proceso de participación importante de parte de los representantes de los distintos usos del agua en el seno de los Consejos de Cuenca. La razón citada detrás de esta condición es la relativa independencia que tienen los mismos usuarios del sector para elegir a sus representantes. También alude a esta capacidad como la vía más importante de que dispone la sociedad para participar en el monitoreo de los acuerdos mediante el papel de sus representantes como intermediarios en el proceso.

Los mecanismos utilizados para la elección de los representantes se contempla como uno de los principales obstáculos que pone en cuestionamiento la efectiva participación de los usuarios, por lo que se destaca la necesidad de ampliar la convocatoria y su difusión, dado que pocas personas suelen asistir y a las que un grupo amplio del sector que elige no toma en cuenta para la elección. El inconveniente de no poder asistir regularmente al consejo se presenta en los sectores cuyos miembros enfrentan limitantes económicas importantes (los usuarios de los sectores agrícola, acuícola, pecuario y forestal).

Garantizar la participación efectiva de estos sectores es fundamental para que el Consejo de Cuenca y sus acuerdos obtengan el reconocimiento de los usuarios y se consideren legítimos sus representantes. Cabe destacar que en el caso de la SRH-VM, el sector forestal no tenía representantes para todas las entidades federativas que lo componen, a pesar de la importancia que tiene este sector para garantizar la conservación de los bosques en esta zona, los cuales son una fuente primordial de agua. Por otro lado, en el caso de la SRH-RSJ, ese sector está completamente ausente en el Consejo de Cuenca. Esta situación constituye un área de oportunidad para mejorar la GIRH con el fin de encontrar los mecanismos adecuados que promuevan mayor participación de los sectores y proporcionar los recursos económicos a los sectores que los necesitan.

Conclusiones

Debido a que la gestión del agua en México sigue siendo sectorial y centralizada, se limita el progreso en su implementación y se restringe la participación efectiva de las autoridades regionales y locales y de los representantes de los usuarios. Si bien el trabajo operativo de los Consejos de Cuenca muestra avances en algunos sectores en relación con los temas analizados en los párrafos anteriores, son evidentes los vacíos que aún existen para lograr una gobernanza real y eficaz.

Aunque las responsabilidades de las diferentes instancias en el contexto de la GIRH están esbozadas de manera clara en la normatividad federal (LAN, 1992, arts. 9, 12, 13 y 14), éstas no son precisas ni desagregadas a nivel local. De igual manera, su seguimiento se ve limitado debido al desconocimiento de la legislación y a la inoperancia de las instancias federales para ese efecto. Lo anterior pone de manifiesto la urgente necesidad de mejorar los conocimientos y las capacidades del personal en el sector del agua. Es importante reducir la rotación y el recorte de personal. Es indispensable reforzar y ampliar la relación operativa de los Consejos de Cuenca para facilitar la verdadera coordinación entre las instituciones de los diferentes niveles de gobierno y los sectores involucrados en la gestión del agua con una visión integral. Se hace necesario precisar y delimitar las funciones y las obligaciones de las dependencias, en particular de las locales.

Se recomienda, para robustecer la implementación de la GIRH, que los representantes de los Consejos de Cuenca amplíen sus capacidades operativas y ejecutivas para tener una mejor administración del agua en las cuencas y que cuenten con mecanismos de seguimiento a los acuerdos de las reuniones de los Consejos de Cuenca. Es importante que se resuelva la falta de coordinación y de colaboración entre las instituciones involucradas en la gestión. Para garantizar la participación efectiva e informada de los actores que buscan lograr la GIRH, se deben encontrar los incentivos para lograr la participación de la población, cuidando la representatividad y la legitimidad de los integrantes del Consejo de Cuenca.

Otro obstáculo para el cabal cumplimiento de la ley se relaciona con la falta de sanciones económicas, sociales y políticas que sancionen efectivamente su incumplimiento. La ausencia de recursos económicos alimenta en los niveles operativos una visión sectorial de corto plazo, orientada a atender únicamente las necesidades más apremiantes. En este sentido, entre las inquietudes externadas por los participantes están las necesidades no resueltas de modernización y tecnificación de la infraestructura para el riego, la construcción y ampliación de ésta para el tratamiento de las aguas residuales en diferentes comunidades. Las funciones de vigilancia y de fiscalización requieren recursos económicos y personal, pero ambos están limitados en el sector. Ante un panorama así, es imprescindible crear los mecanismos que garanticen la transparencia en la asignación y en el monitoreo de los

recursos para lograr una operación eficaz y eficiente de la GIRH. A la falta de criterios claros para la asignación de los recursos económicos, materiales y humanos, se suma la ausencia de una planeación fuerte para la asignación eficiente, de largo plazo y no sujeta a criterios políticos.

Los participantes identifican a la Conagua –a través de los Consejos de Cuenca, los órganos auxiliares y los grupos especializados– como el actor central relacionado con todos los procesos de planeación en el marco de la GIRH, como la institución que establece los lineamientos para la calidad, la cantidad y el acceso al agua y que es la encargada de abordar las problemáticas que afectan a la población. En la práctica, sin embargo, la ausencia de condiciones económicas y técnicas inhibe la participación de otros actores en la toma de decisiones, lo que afecta la implementación del modelo GIRH. A pesar de que refieren ejercicios de planeación y la elaboración de planes hídricos, el conocimiento acerca de ellos se ha limitado sólo a ciertos sectores que han participado en dichos proyectos, por lo que los otros sectores quedan al margen. Lo anterior genera las críticas relacionadas con la discrecionalidad, la centralización y la reactividad en la toma de decisiones de la Conagua.

Las recomendaciones en torno a estas condiciones apuntan a implementar estrategias para favorecer la planeación de la GIRH e incluir en los planes de desarrollo municipal los objetivos y las prioridades del plan hídrico para vincular la gestión del agua con la territorial. Es imprescindible contar con los recursos económicos que garanticen la implementación de los planes hídricos y los proyectos acordados en los Consejos de Cuenca. Es también necesario recomendar el incremento de la difusión respecto a la situación en que se encuentran los recursos hídricos en las cuencas respectivas, para que los diferentes actores participen de manera informada en la planeación y para que aumente también la participación social. En este esquema, los Consejos de Cuenca deben ser objeto del fortalecimiento técnico y económico, y deberán cumplir con los acuerdos relacionados con la implementación de la GIRH.

Desafortunadamente, para el monitoreo no existen mecanismos claros que vayan más allá de un carácter meramente administrativo y, por lo tanto, no se ha podido evaluar de manera sistemática la GIRH. Esta evaluación favorecería la reorientación del actuar de la política del agua. La suma de la falta de instrumentos más la falta de transparencia ha promovido el uso discrecional de los recursos, la corrupción y el clientelismo. En este sentido, es imprescindible la institucionalización de los procedimientos de monitoreo con reglas claras para todos los usuarios sobre las normativas correspondientes sobre la periodicidad del seguimiento y la aplicación de sanciones. Igualmente se requiere mejorar los mecanismos para esta actividad mediante el uso de las nuevas tecnologías de información y que se planteen objetivos basados en indicadores. En el caso de incumplimiento habría que aplicar sanciones.

Los temas de la transparencia y de la rendición de cuentas son fundamentales y causan efecto en la percepción que la sociedad en general tiene sobre el trabajo de

los actores relacionados con la GIRH. Los resultados de este capítulo dejan entrever que el público interesado depende de los organismos y de los Consejos de Cuenca para obtener información, particularmente en las subregiones más urbanizadas. Aunque hay cierta dificultad para que la sociedad tenga acceso a los datos, también existe el desconocimiento de las vías por las cuales que se puede obtener información. Lo anterior sucede en la SRH-RSJ y en la SRH-BG. La SRH-VM ofrece, en términos generales, mayor visibilidad de este tipo de estructuras, en concordancia con niveles comparativos de información más altos.

La Conagua podrá tomar en cuenta las condiciones antes mencionadas como base para delinear una política de mejora de las vías y estructuras de acceso a la información del tipo mencionado aquí. Este escenario representa una ventana de oportunidad para que el sector institucional divulge las decisiones tomadas en torno a la gestión, sus alcances y la asignación de los recursos, entre otros importantes indicadores. La participación efectiva e informada es un puntal de la gobernanza. En el contexto de la GIRH aparece nuevamente la Conagua como actor central en este tema, a través de los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares, como los principales espacios de participación, en concordancia con los preceptos de la LAN. La participación, la representatividad y los procesos de selección son los aspectos más sobresalientes de este tema. Sus características están expresamente definidas en la legislación correspondiente y en el reglamento interno de los Consejos de Cuenca.

La participación se lleva a cabo a través de quienes representan a los grupos de usuarios, pues son ellos los que llevan, al seno de las reuniones del consejo o a los grupos de trabajo especializados, las prioridades y las problemáticas en materia de agua de los sectores a los que pertenecen. Uno de los problemas que enfrenta la participación se relaciona con la asistencia a las reuniones, pues si un determinado sector enfrenta restricciones económicas, como sucede en los sectores de usuarios agrícola, pecuario y forestal, no puede enviar candidatos para la elección. En algunos casos, estas condiciones impiden la participación de un sector, pese a la importancia del mismo en la subregión. En este sentido es fundamental la participación plena de los sectores en el seno del Consejo de Cuenca para la legitimidad de los acuerdos y de los mismos representantes. Entonces en este rubro hay un área de oportunidad para mejorar la GIRH, a través de la búsqueda de instrumentos económicos que amplíen la participación de los sectores que tienen recursos limitados.

La representatividad está estrechamente relacionada con la participación. Es una característica que da a los usuarios la independencia de elegir libremente a sus representantes. Así mismo, la representatividad es la vía más importante de la sociedad para que se lleve a cabo el seguimiento de todas las actividades.

Referencias

- Biswas, A. (2008). Integrated water resources management: is it working? *Water Resources Development*, 24(1), 5-22.
- Ley de Aguas Nacionales (LAN). (1992). *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 1 de diciembre de 1992. (Reforma publicada el 6 de enero de 2020). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDES). (2018). *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 5 de junio de 2018. Recuperado de http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LG_DE_DESARROLLO_FORESTAL_SUSTENTABLE.pdf.
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS). (2001). *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, 7 de diciembre de 2001. (Reforma publicada el 12 de abril de 2019). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/235_120419.pdf
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEPA). (1988). *Diario Oficial*, Ciudad de México, 28 de enero de 1988 (Reforma publicada el 5 de junio de 2018). Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
- Global Water Partnership (GWP). (2006). *Gestión integrada de crecientes. Caso de estudio México: río Grijalva. Programa asociado de gestión de crecientes*. Tuxtla Gutiérrez: GWP.
- Global Water Partnership (GWP). (2008). *Principios de gestión integrada de los recursos hídricos. Bases para el desarrollo de planes nacionales*. Montevideo, Uruguay: GWP.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. Autores. Recuperado de

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ismael Aguilar-Benitez / Eugenio Gómez-Reyes / Felipe Omar Tapia-Silva /
Lilia Rodríguez-Tapia / M. Azahara Mesa-Jurado / Sergio Colín Castillo /
Silvia Alicia Rodríguez Tapia / Fabiola S. Sosa-Rodríguez / José Luis Castro Ruíz

Usualmente, los estudios sobre la gestión del agua se llevan a cabo desde perspectivas disciplinarias y por tipo de uso o por tipo de fuente de agua. Aunque muy necesarios, esos trabajos tienen como limitación que no identifican las interrelaciones entre usos y el contexto de cuenca. Por otro lado, los análisis enfocados en las unidades geohidrológicas pueden definir las cuencas en sus distintas características: naturales, sociales, económicas o ambientales, pero no identifican alternativas de gestión que puedan llevarse de manera factible al diseño de política pública, pues, como se reporta en los trabajos de esta publicación, la política hídrica se define en México por unidades político-administrativas (estado, región hidrológico-administrativa [RHA]) y no por cuenca específica. La misma definición de las cuencas es un tema pendiente, pues no existe una única delimitación de las mismas. En este libro se plantea como perspectiva analítica el estudio de los usos del agua en un contexto de subregión hidrológica como ente hidrológico potencialmente viable para la planeación y la gestión del agua, alternativa a una administración del agua que en la práctica se lleva a cabo por delimitaciones políticas (estados) o administrativas (RHA).

La subregión hidrológica como un espacio regulatorio funcional en una escala intermedia entre unidades geohidrológicas naturales y unidades político-administrativas, parece entonces una alternativa potencialmente viable que permitiría la integración de la información de los principales usos del agua y el contexto de cuenca, partiendo de la disponibilidad de agua como condicionante para un uso sostenible. Ésa es la perspectiva que se mantiene en los trabajos presentados.

El análisis comparativo permite, además de identificar las diferencias, explorar las similitudes que un enfoque analítico de subregiones hidrológicas hace factible para el diseño e implementación de propuestas de política hídrica. Las secciones del libro se organizaron en torno a los tres grandes temas en que se tratan en el enfoque propuesto: la disponibilidad de agua por subregión, los principales usos

del agua (tanto consuntivos como ecológico) y, finalmente, las posibilidades de implementar el enfoque de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en las subregiones de estudio. Enseguida se resumen las principales recomendaciones derivadas de cada trabajo.

Uno de los principales aportes del primer capítulo, «Caracterización hidrológica de las subregiones de estudio», es que permite definir las tres subregiones de estudio como unidades hidrológicas pertinentes. En efecto, los autores concluyen que, a pesar de que las tres subregiones son contrastantes en términos de clasificación hidrológica, tamaño, clima, tipo de cobertura terrestre y disponibilidad de agua, una característica común de las tres subregiones hidrológicas es que por sus formas geográficas (formas alargadas) se presentan escurrimientos con una dirección bien definida y estructurada que funciona como aporte al flujo de una corriente o cuerpo de agua principal.

Otra observación relevante es que un mayor tamaño de las subregiones de estudio no implica una mayor captación pluvial en las cuencas, ya que esto depende del régimen de lluvias y de otros factores, como el clima, la vegetación y los suelos. El clima desempeña un papel importante en la cantidad natural de agua disponible en las cuencas: a mayor temperatura, mayor riesgo de evaporación. La principal implicación de la caracterización hidrológica de estas unidades de estudio es que se puede partir de su delimitación para definir políticas hídricas con mayor factibilidad que mediante un manejo por región hidrológico-administrativa o por cuencas individuales.

En el segundo capítulo, «Disponibilidad natural del agua en las subregiones de estudio», se estima la disponibilidad de aguas superficial y subterránea –por subregión y por los municipios que las integran– mediante la aplicación de una metodología basada en el análisis espacial y la percepción remota. Esta metodología tiene como ventaja que permite una estimación comparable con las metodologías tradicionales mediante las que se obtienen estimaciones de volúmenes de agua disponibles con los valores oficiales reportados por la Conagua, pero requiere una menor cantidad de información.

El método desarrollado puede ser una alternativa viable a los inconvenientes de los modelos de base física aplicable a cuencas con limitadas capacidades en sus redes de medición. Una segunda ventaja, con implicaciones para los planteamientos de política hídrica, es que el método desarrollado permite estimaciones de disponibilidad por municipios o zonas dentro de cada subregión. Esto faculta diferenciar las posibilidades de manejo del agua a niveles micro, lo cual puede brindar elementos para una toma de decisiones espacialmente diferenciada utilizando relativamente pocos datos anuales secuenciales. En el caso de las subregiones de estudio, se identificaron municipios y zonas diferenciadas por disponibilidad.

En las subregiones Bajo Grijalva (SRH-BG) y Valle de México (SRH-VM) el balance hidrológico depende primordialmente de la precipitación; y en el caso de la subregión Río San Juan (SRH-RSJ), del escurrimiento. En cuanto a disponibilidad

superficial, en el caso de la SRH-RSJ, los menores valores se observan en el norte y en el noreste de la subregión. En la SRH-VM se observa una predominancia de valores bajos de disponibilidad superficial. En el caso de SRH-BG, las partes norte y sur son las que presentan menor disponibilidad superficial. Ello está asociado a la gran presencia de cuerpos de agua que absorben el agua, de modo que ésta no escurre sobre las áreas no inundadas.

En la SRH-RSJ, puede observarse que los municipios con los mayores valores de balance hidrológico son los que tienen las disponibilidades subterráneas mayores (General Terán, Ramos Arizpe, General Cepeda y China). En el caso de la SRH-VM, la situación es crítica, dado que a pesar de que se observa recarga, la disponibilidad subterránea resulta solamente en valores negativos. En el caso de SRH-BG, el patrón espacial de balance hidrológico y el de disponibilidad subterránea por municipio son semejantes.

La definición de disponibilidad de agua, tanto superficial como subterránea, por zonas y municipios dentro de cada subregión posibilita detectar problemáticas específicas y definir políticas particulares para cada subregión.

En el tercer capítulo, «De la escasez a la abundancia: Panorama actual del uso agrícola del agua en tres subregiones hidrológicas de México», se propuso caracterizar y cuantificar los volúmenes de agua utilizados en el sector agrícola para las tres subregiones de estudio, utilizando una serie de indicadores y la compilación estadística. El análisis de este capítulo se enfocó en aspectos como la disponibilidad natural, los sistemas y las técnicas de riego; el origen y la calidad del agua y cómo estos factores se relacionan con la superficie sembrada; y el patrón de cultivos en cada subregión.

Los autores concluyen que las diferencias en el área de riego de cada SRH se explican por la disponibilidad de agua superficial. Así, la SRH-RSJ, que tiene el mayor porcentaje de área de riego, tiene una disponibilidad natural limitada, mientras que la SRH-BG, con una disponibilidad alta, tiene un porcentaje de riego muy bajo. Estas situaciones obligan a administrar su escasez y a generar la infraestructura necesaria para su mejor aprovechamiento. Por otro lado, la superficie sembrada está condicionada por las presiones urbana e industrial. Por ejemplo, en la SRH-VM, la superficie sembrada ha disminuido, cediendo a la presión urbana.

En cuanto a los sistemas de riego, tanto en la SRH-RSJ como en la SRH-VM, el sistema más empleado es el de canales de tierra, seguido de los canales recubiertos, mientras que la SRH-BG no tiene una estructura bien establecida. Respecto a la tecnificación del riego, la aspersión es el sistema más empleado, tanto en la SRH-RSJ como en la SRH-BG, seguido del goteo. Respecto del origen del agua para el riego, la principal fuente en las tres subregiones es el pozo profundo (aproximadamente 30 %), seguido del agua de río; aunque en las subregiones SRH-RSJ y SRH-VM otra fuente importante son las presas y en la SRH-BG, son los bordos u hoyas de agua.

En lo que respecta al tema de la calidad del agua, tanto en la SRH-RSJ como en la SRH-BG el origen principal es el agua blanca, lo cual deriva en una intensa competencia por el agua, especialmente en el Valle de México. El uso de aguas negras en el Valle de México imposibilita la utilización de sistemas de aspersión y de goteo, situación que no se observa en la SRH-RSJ, donde los sistemas de riego son más eficientes. Por otra parte, en la SRH-BG, hay preferencia por parte de los productores a utilizar agua subterránea, debido a la alta cantidad de sólidos en suspensión que arrastran las fuentes superficiales. En esa región, el riego debe combinarse a menudo con la construcción de infraestructura para drenar y utilizar esas tierras después de controlar la humedad en el suelo. Por el lado de la producción agrícola, aun cuando la SRH-RSJ es la más grande en tamaño, tanto en superficie sembrada como en volumen de agua concesionada, la SRH-BG es la que registra el consumo de agua más elevado, quizás por su mayor disponibilidad natural.

Como recomendación general de política para lograr una mejor gestión del agua de riego, se propone observar algunos indicadores clave, como: el valor de la producción de riego, la productividad del agua y la eficiencia agronómica del agua. Quizás el factor calidad del agua desempeñe el papel más relevante al condicionar la posibilidad de utilizar técnicas eficientes, como la aspersión o el goteo, situación muy singular y evidente en el Valle de México, donde se maneja una gran cantidad de aguas negras. Una mayor productividad del agua también se corresponde con una mayor superficie sembrada de cultivos de mayor valor, pero sobre todo de una producción más orientada al mercado y menos al autoconsumo.

En el cuarto capítulo, «Un análisis de eficiencia en el uso doméstico urbano de las tres subregiones de estudio», se ubica el uso doméstico urbano en el contexto de subregión, y utilizando datos a nivel de municipios por subregión se demuestra que el uso doméstico se encuentra en competencia con otros usos en las áreas urbanas. Se concluye que los usos industrial y agrícola registran mayores volúmenes de agua concesionados en varios municipios que se encuentran en zonas urbanas de las subregiones Valle de México y Río San Juan.

Estos resultados permiten afirmar que el agua de las fuentes locales para zonas urbanas se destina mayormente a satisfacer requerimientos de otros usos y no al doméstico-urbano como podría asumirse. Se hace necesario, entonces, revisar los procesos y los criterios para la asignación y la renovación de concesiones, particularmente del orden de prelación que la Ley de Aguas Nacionales establece. Antes de realizar cuantiosas inversiones en infraestructura hídrica, se deben revisar la vigencia de las concesiones para usos distintos del doméstico, la regulación aplicable y las posibilidades de reasignación de los derechos de agua.

Otro de los hallazgos relevantes en este capítulo es que los organismos de captación, tratamientos y suministro de agua (OCTSA) de cada subregión muestran desempeños operativos distintos; en particular se detectan diferentes eficiencias

técnicas en relación con el volumen captado de agua. Mientras que los organismos de la SRH-RSJ reportan mejores puntajes de eficiencia y menores reducciones posibles en las variables operativas analizadas, más de la mitad de los OCTSA de la SRH-VM muestran ineficiencia técnica operativa. Es notable que si las tres subregiones tuvieran un nivel de eficiencia operativa, se podría reducir el volumen captado de agua.

Estos resultados ponen en evidencia la necesidad de modificar de manera sustantiva la orientación actual de la política pública enfocada en la creación de infraestructura hídrica para llevar agua a las ciudades, hacia una política hídrica enfocada en una mejor gestión por usos y la promoción de mayor eficiencia técnica de los organismos operadores.

En el quinto capítulo, «Valor económico del agua en la industria manufacturera de las tres subregiones de estudio», se estima el valor económico del agua mediante la modelación de su uso en la industria manufacturera y en la actividad industrial en las tres subregiones de estudio. En general, el sector industrial paga una tarifa que está muy por debajo del verdadero costo de proveerla por el volumen de agua consumido y muy por debajo de los beneficios que el uso de estos volúmenes como insumo en sus procesos le representa. Es importante notar también que la subregión con mayores problemas de disponibilidad, Valle de México, reporta también una mayor sensibilidad de la industria manufacturera al agua como insumo.

Los resultados encontrados para las tres subregiones de estudio confirman que el valor marginal del agua difiere significativamente entre las tres subregiones, con el mayor valor para la SRH-VM y el menor para la SRH-BG. Los autores afirman que esos valores se ubican en la media del rango del valor marginal del agua a escala internacional. Los valores estimados en este trabajo se explican principalmente por el bajo costo al que las unidades económicas tienen acceso al recurso, ya que está por debajo de los precios a los cuales se paga en otros países.

No obstante, las diferencias interregionales se explican por la escasez del recurso: a mayor escasez, mayor valor marginal del agua. Es por esa razón que las subregiones que presentan el mayor índice relativo de estrés hídrico (SRH-VM y SRH-RSJ) registran también los mayores valores marginales del agua. Las industrias identificadas como altamente intensivas en el uso del agua fueron la química, la de bebidas y tabaco, el equipo de transporte, el curtido y acabado de cuero y piel, la del papel y los productos a base de minerales no metálicos.

Los resultados de este capítulo permiten proponer que un manejo de los recursos hídricos, que refleje el valor económico del agua, debe integrar en los cobros de derechos y tarifas el margen de ganancias de esas industrias, la escasez de cada unidad hidrológica (en este caso, de cada subregión hidrológica) y el impacto ambiental derivado de las externalidades por la contaminación que generan. El sexto capítulo, «Uso del agua en la industria de explotación de hidrocarburos y minerales en tres subregiones hidrológicas en México», describe y relaciona la

situación de la producción minera y metalúrgica con el agua que utiliza en cada subregión hidrológica. Los resultados de ese capítulo permiten identificar una relación directa entre la extracción y el procesamiento en la industria metalúrgica y el uso del agua en las subregiones estudiadas. La producción minera se registra en las tres subregiones hidrológicas de estudio; sin embargo, su incidencia en cada una está diferenciada.

De las tres subregiones hidrológicas de estudio, la SRH-VM, localizada en el centro del país, no registra actividad petrolera; en el norte, la SRH-RSJ, sólo presenta actividad de extracción de petróleo; y en la SRH-BG, se extraen tanto petróleo como gas. La SRH-BG y la SRH-RSJ son áreas de gran importancia en la producción nacional de petróleo y de gas natural, respectivamente. Ambas subregiones hidrológicas son importantes, tanto por la cantidad de producción que aportan al total nacional, como por el valor económico de dicha producción. Respecto al uso del agua, en el sector de extracción minero petrolero, la SRH-RSJ explica 14.3 por ciento mientras que la SRH-BG utiliza 35.6 por ciento del agua en el país para esta actividad.

En cuanto a la industria minero-metalúrgica (IMM), la que presenta mayor participación es la SRH-RSJ, seguida de la SRH-BG y, finalmente, la SRH-VM, con un valor muy reducido. De acuerdo con el aporte de los diferentes productos minerales en el total del valor producido por subregión hidrológica, la producción de plata y de hierro es la más destacada en la SRH-RSJ, mientras que en la SRH-VM destaca la producción de zinc; y en la SRH-BG, el azufre. En las tres subregiones hidrológicas investigadas el consumo de agua por la IMM registra importancia diferenciada: en la SRH-RSJ el consumo es muy alto; le sigue en importancia la SRH-BG y con un consumo marginal, la SRH-VM.

Como se señala en el capítulo, el agua consumida por la IMM preferentemente procede entre 60 y 65 por ciento de alguna fuente subterránea. Un análisis de los derechos de extracción de agua de uso minero en los acuíferos de las tres subregiones hidrológicas estudiadas y su estado de explotación muestra diferencias entre las subregiones y también la problemática respecto al agua subterránea. El capítulo muestra cómo es que la SRH-VM tiene escaso margen para el desarrollo de las industrias petrolera y minero-metalúrgica. Una proporción importante de los títulos concesionados para el caso de la SRH-RSJ se encuentra sobreexplotada, por lo que esta actividad debería tener cierta limitación, mientras que la SRH-BG cuenta con un margen para el uso de agua en actividades minero-metalúrgicas, puesto que actualmente tiene menos de uno por ciento de los títulos de aprovechamiento. Aunque esto no sugiere que se promueva solamente la actividad minero-metalúrgica, sólo muestra la situación comparativa de las subregiones.

Los resultados del séptimo capítulo, «Caudal ecológico: Un análisis comparativo de tres subregiones hidrológicas», permiten conocer el componente del régimen hidrológico natural recomendado. En este capítulo se realizó la evaluación del

caudal ecológico por subregión utilizando el método hidrológico recomendado por la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, con series de datos de veinte años (1996-2016). La escala de aplicación de esta metodología fue a nivel de subregión hidrológica (SRH). Los autores advierten que esta escala sólo proporciona resultados para tener un estimado del comportamiento general del caudal ecológico. Esta información es crucial para promover que se mantenga el volumen de agua necesario para la conservación de los ecosistemas.

El caudal ecológico recomendado para la SRH-BG es alto, tanto en período de avenidas ($711.28 \text{ m}^3/\text{s}$) como de estiaje ($355.64 \text{ m}^3/\text{s}$); sin embargo, en los meses de marzo y abril el valor del caudal ecológico es mayor al caudal medio mensual. El caudal ecológico recomendado para la SRH-RSJ es bajo, en época de estiaje es de $1.72 \text{ m}^3/\text{s}$, y de $3.44 \text{ m}^3/\text{s}$ en época de avenidas. Este caudal ecológico se considera apenas suficiente para mantener el estado ecológico de la cuenca como moderado. En la SRH-VM, el estado ecológico de la cuenca, ya de por sí deficiente, difícilmente podrá tener un punto de retorno.

La subregión Bajo Grijalva tiene mayor importancia ecológica por su zona de captación, conservada a pesar de la presión de cambio de uso de suelo, entre otras características similares a las otras dos subregiones. En el caso de la SRH-RSJ, el caudal ecológico es muy bajo: apenas puede mantener el estado ecológico de la cuenca en un nivel moderado, pero con un riesgo a descender. Finalmente, en el Valle de México se observa un estado ecológico de la cuenca deficiente y es difícil que pueda retornar, por lo que no se pudo recomendar un caudal ecológico.

En el octavo capítulo, «La implementación del modelo de gestión integrada de los recursos hídricos en las subregiones de estudio y sus retos en materia institucional y legal», los autores describen cómo los principios de la GIRH se han traducido en arreglos normativos a escala federal y en arreglos institucionales a escala regional y local. Enfatizan que los principios de la GIRH no se han logrado traducir de manera concreta en la normatividad estatal, debido a que en algunas entidades federativas no se reconoce la cuenca como la unidad de gestión del agua más adecuada. Los autores afirman que, a escala local, no hay un respaldo legal para establecer usos prioritarios ni para vincular la gestión del territorio con el agua. Tampoco hay mecanismos de coordinación y de corresponsabilidad para generar esquemas de gobernanza del agua. Los resultados de este capítulo muestran que a pesar de que las características hidrológicas permiten definir las subregiones como unidades de gestión para el agua, los marcos normativos actuales no son adecuados para la implementación del enfoque GIRH en esas unidades.

El último capítulo, «Evaluación de la gestión integrada de los recursos hídricos: Retos y avances», detalla lo que anticipa el capítulo anterior. En este trabajo los autores enumeran los obstáculos para la implementación del enfoque GIRH en las RHA donde se encuentran las subregiones de estudio. De acuerdo con los autores,

los principales retos de la GIRH se hallan en su operación. Específicamente, los obstáculos en materia de asignación de recursos y su disponibilidad, la falta de mecanismos para realizar un monitoreo permanente, la falta de espacios de participación efectiva y legítima de los integrantes del Consejo de Cuenca y la elevada centralización de la gestión en la Comisión Nacional del Agua (Conagua) a escala federal, representan importantes limitaciones para crear las condiciones que permitan una gestión del agua más sustentable, de largo plazo e incluyente.

Es importante notar que mientras que los análisis de usos del agua en la SRH-BG refieren situaciones de ineficiencia (uso agrícola y doméstico) y de bajo valor (uso industrial), el resultado del análisis de caudal apunta a su alta importancia ecológica y a potenciales riesgos si no se conserva un volumen de agua necesario, lo cual sugiere que una visión de explotación del recurso hídrico, dada una aparente abundancia, no es deseable si se quiere una gestión sostenible. En el caso de las otras dos subregiones, se puede concluir que la SRH-RSJ se encuentra en un alto riesgo potencial, que hace indispensable considerar en la política hídrica para esa subregión la alta competencia entre los usos. La situación de la SRH-VM es extrema dadas sus condiciones críticas de nula disponibilidad, alta competencia, usos ineficientes y sobreexplotación, además de la inviabilidad de un caudal mínimo que pueda detener su deterioro ecológico. Es urgente tomar medidas para limitar los usos del recurso en esa subregión. Esto representa un gran reto para una política hídrica que ha privilegiado la inversión en infraestructura hídrica en el centro del país.

ACERCA DE LOS AUTORES

Ismael Aguilar-Benitez

Doctor en Planeación Urbana y Regional por la Universidad de California, Campus Irvine. Investigador del Departamento de Estudios Urbanos y del Medio Ambiente de El Colegio de la Frontera Norte (El Colef). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), nivel I. Responsable técnico del proyecto PDCPN-2014-248719, «Hacia una gestión integral del agua por cuenca hidrológica: Un análisis de la disponibilidad y usos», apoyado por vía de la convocatoria Problemas Nacionales 2014 del Consejo de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Responsable técnico de la Red Temática Conacyt Gestión e Investigación del Agua, 2018-2020. Ha coordinado los libros *Los servicios del agua en el norte de México* (El Colef, 2011) y *Gestión del agua en México: Sustentabilidad y gobernanza* (El Colef, 2020). Las áreas de interés de su reciente trabajo de investigación son la administración pública del agua; administración y gestión de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento; y economía del agua y de los recursos naturales.

iaguilar@colef.mx

Myriam Astrid Botero-Arias

Maestra en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional y Bióloga de la Universidad de Antioquia, en Colombia. Ha desarrollado investigación en varios campos de la ecología, analizando las relaciones y la distribución altitudinal de especies. Ha participado en estudios de impacto ambiental asociado con actividades petroleras y en estudios relacionados con la gestión integral del agua en el área agrícola. Sus líneas de investigación son educación ambiental, estudios de impacto ambiental y desarrollo social sustentable.

asbotero@gmail.com

José Luis Castro Ruiz

Doctor en Desarrollo Urbano y Regional por la Universidad del Sur de California. Profesor-investigador del Departamento de Estudios Urbanos de El Colef en Monterrey, Nuevo León. Miembro del SNI, nivel II. Es co-coordinador de los libros: *Tecate, Baja California: realidades y desafíos en una comunidad fronteriza mexicana* (San Diego State University Press, 2002), *Economía y desarrollo sustentable: región golfo de California* (AM Editores, 2011) y *Procesos económicos, laborales y urbanos en la frontera noreste en el contexto de la apertura económica* (El Colef/Universidad Autónoma de Coahuila [UAdeC], 2011). Sus líneas de investigación incluyen el desarrollo urbano de la región fronteriza entre México y Estados Unidos, y la gestión urbana y transfronteriza del agua.

jlcastro@colef.mx

Sergio Colín Castillo

Doctor en Economía Agrícola por la Texas A&M University, en Estados Unidos. Profesor-investigador en el Centro de Investigaciones Socioeconómicas (CISE) de la UAdeC. Maestro en Economía Aplicada por El Colef y economista agrícola por la Universidad Autónoma de Chapingo. Miembro del SNI, nivel I. Actualmente imparte las cátedras de Estadística, Economía Ambiental, Economía del Agua y Microeconometría, en el CISE-UAdeC. Su última publicación, en coautoría con N. Manríquez y F. Martínez, es «Reflexiones en torno a la economía solidaria: una revisión de la literatura» (*Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 2017). Su investigación aborda temas de la gobernanza para la gestión de los recursos de uso común, análisis de productividad y eficiencia, instrumentos económicos y cambio climático, centrado principalmente en los recursos agua y energía.

sergio.colin@uadec.edu.mx

Eugenio Gómez Reyes

Profesor-investigador titular C del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM), y coordinador de la Red de Estudios del Agua de la misma universidad. Maestro y doctor por la Universidad Estatal de Nueva York. Actualmente desarrolla simulaciones numéricas para la optimización de los recursos hídricos de la subregión hidrológica de Valle de México bajo restricciones de equilibrio del agua subterránea. Su última publicación es «Water Use Pattern» en *Water, Food and Welfare: Water Footprint as a Complementary Approach to Water Management in Mexico* (Springer, 2016). Sus líneas de interés de investigación son el manejo del recurso hídrico, los procesos de circulación de corrientes y el transporte de contaminantes en cuerpos de agua costeros, epicontinentales y subterráneos.

egr@xanum.uam.mx

Ana Elizabeth Marín Celestino

Posdoctora por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), en el programa de Doctorado en Ciencias Ambientales. Doctora en Hidrociencias por el Colegio de Postgraduados e ingeniera ambiental de profesión por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Su última publicación, en coautoría con Alonso-Lavernia, Hernández-lores, Árcega-Santillán, Romo-Gómez, y Otazo-Sánchez, es «Unveiling groundwater quality vulnerability nexus by data mining: Threats predictors in Tulancingo aquifer, Mexico» en *Water Availability and Management in Mexico* (Springer, 2020). Su área de investigación está enfocada en el estudio de la calidad y la cantidad del agua, así como en el análisis hidrogeoquímico y la modelación espaciotemporal del agua subterránea mediante sistemas de información geográfica y técnicas estadísticas multivariadas.
ana.marin@ipicyt.edu.mx

María Azahara Mesa Jurado

Doctora e ingeniera agrónoma por la Universidad de Córdoba, en España. Investigadora en El Colegio de la Frontera Sur, unidad Villahermosa, en el estado de Tabasco. Miembro del SNI, nivel I. Actualmente pertenece al grupo académico Manejo Sustentable de Cuencas y Zona Costera dentro del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad. Su última publicación, en coautoría con Martín-Ortega, Pineda-Vázquez y P. Novo, es «Nature commodification: ‘a necessary evil’? An analysis of the views of environmental professionals on ecosystem services-based approaches» (*Ecosystem Services* 37, 2019). Sus líneas de trabajo abarcan la gestión de los recursos naturales, con especial atención al agua, valoración ambiental, percepción social de los servicios ecosistémicos, áreas naturales protegidas, diseño y evaluación de políticas públicas y procesos participativos para la toma de decisiones en un contexto de cambio global.
mmesa@ecosur.mx

Jorge A. Morales-Novelo

Doctor en Ciencias Económicas. Se desempeña como profesor de tiempo completo del Departamento de Economía, del Área de Crecimiento y Medio Ambiente en la UAM-Azcapotzalco. Es miembro del SNI, nivel I. Entre sus publicaciones destaca el libro, en coautoría con L. Rodríguez Tapia, *Contaminación del Atoyac, daños ambientales y tecnologías de mitigación y economía del agua* (Miguel Ángel Porrúa, 2014). Sus líneas de investigación son economía del agua, modelación económica del sistema natural y económico y valoración socioeconómica de los recursos hídricos.
jamn8647@gmail.com

Daniel A. Revollo-Fernández

Posdoctorado en Valoración Económica de Bienes y Servicios Ambientales por el Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM-UNAM), Doctor en Economía de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y magíster en Economía por la Universidad de Los Andes (Colombia). Miembro del SNI, nivel I. Actualmente pertenece al área de Cátedras del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Cátedra número 1812, Modelo Hídrico y Económico de la Cuenca del Valle de México. Su última publicación, en coautoría Almeida-Leñero, Caro-Borero, Ruiz-Mallen, Corbera, Mazari-Hiriart, y F. Figueroa, es «Not the same for everyone: Community views of Mexico's payment for environmental services programmes» (*Environmental Conservation*, 2017). Sus líneas de investigación apuntan a temas de economía ambiental, técnicas de valoración económica ambiental, teoría de juegos, cambio climático y políticas públicas relacionadas con transporte, acueducto y alcantarillado.

drevollofer@gmail.com

Lilia Rodríguez Tapia

Doctora en Economía y se desempeña como profesora de tiempo completo en el Área de Investigación de Crecimiento Económico y Medio Ambiente del Departamento de Economía de la UAM-Azcapotzalco. Miembro del SNI, nivel I. Actualmente coordina la Especialidad en Economía Ambiental Aplicada a la Gestión Económica y Sustentable del Agua en la UAM-Azcapotzalco. Sus últimas publicaciones actuales son «Agua virtual en un marco insumo-producto para el Valle de México» (*Agua y Saneamiento*, 2018) e «Impacto de los subsidios al agua en los hogares pobres de la Ciudad de México» (*Gestión y Política Pública*, 2018). Sus temas de investigación son economía del agua, modelación económica del sistema natural y económico y valoración socioeconómica de los recursos hídricos.

lrt@correo.azc.uam.mx

Silvia Alicia Rodríguez Tapia

Doctora en Ciencias en Edafología por el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Ha realizado investigaciones sobre génesis, morfología y clasificación de suelos, en calidad de suelos y en manejo y conservación de aguas. Se ha desempeñado como profesora-investigadora en el Instituto de Estudios Ambientales, como directora del Instituto de Estudios Ambientales y actualmente como vicerrectora de la Universidad de la Sierra Juárez. Su principal línea de investigación es la degradación de suelos.

silrota@gmail.com

Fabiola S. Sosa Rodríguez

Doctora en Estudios Urbanos y Ambientales por El Colegio de México (Colmex). Profesora-investigadora de la UAM-Azacapozalco en el Departamento de Economía, Área de Crecimiento y Medio Ambiente. Miembro de la Red Mexicana de Investigación del Clima y del Consejo Mundial de las Ciencias Sociales, de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Miembro del SNI, nivel I. Es autora de publicaciones internacionales en revistas indexadas, capítulos de libros, informes científicos y libros en temas relacionados con la gestión del agua y el cambio climático. Su última publicación, en coautoría con Vazquez-Arenas, Ponce-Peña, Escobedo-Bretado, Castellanos-Juárez, Labastida, y F. Lara, es «Spatial distribution, mobility and potential health risks of arsenic and lead concentrations in semiarid fine top-soils of Durango City, Mexico» (*Catena*, 2020). Sus líneas de investigación son el cambio climático, la gestión del agua, los consejos de cuenca y las soluciones basadas en la naturaleza, la reactivación económica verde, la mejores prácticas de relacionamiento social y ambiental en la industria minera metálica.

fssosa@gmail.com

Esthela Irene Sotelo Núñez

Politóloga, doctora en Estudios Urbanos y Ambientales por el Colmex y maestra en Estudios Urbanos por la misma institución. Profesora-investigadora de tiempo completo de la División de Ciencias Sociales y Humanidades de la UAM-Xochimilco. Actualmente estudia la relación entre el acceso al agua y la pobreza urbana, tomando como referente empírico la cuenca de México y coordina la Maestría en Políticas Públicas en la UAM-X. Su última publicación es el artículo «Agua y periferia en el contexto metropolitano: Entre la provisión pública y los mecanismos sociales de ajuste» (*Agua, el futuro ineludible*, 2020). Sus líneas de investigación se centran en el análisis de la formulación, diseño, implementación y evaluación de políticas urbanas, específicamente aquellas relacionadas con la gestión y acceso al agua.

esthela.sotelo@gmail.com

Felipe Omar Tapia Silva

Obtuvo el grado doctoral (Dr. Rerum Agriculturarum) por el Instituto para Proyectos Ecológicos Urbanos y Rurales de la Universidad Humboldt de Berlín. Profesor-investigador titular de la UAM-Iztapalapa, en el Departamento de Hidrobiología y coordina el Laboratorio de Geomática Aplicada a Recursos Naturales. Su última publicación, en coautoría con A. López-Caloca, es el artículo «Calculating long-term changes in Lake Chapala's area and water volume using remote sensing and field data» (*J. Appl. Remote Sens*, 2018). Su área general de interés es la aplicación de disciplinas de la geomática (percepción remota y análisis espacial) y modelaje

Acerca de los autores

hidrológico geoespacial distribuido en la resolución de la problemática ambiental y específicamente del agua en zonas urbanas y rurales.
otapia@xanum.uam.mx

La gestión de los usos del agua en tres subregiones hidrológicas:

Río San Juan, Valle de México y Bajo Grijalva

Edición al cuidado de la Coordinación
de Publicaciones de El Colegio de la Frontera Norte,
14 de diciembre de 2020.

Para comentarios, enviarlos a:
publica@colef.mx

En este libro se plantea el estudio de los usos del agua en un contexto de subregión hidrológica como alternativa a una planeación hídrica que en la práctica se lleva a cabo por delimitaciones políticas (estados) o administrativas (Región Hidrológica Administrativa). La subregión hidrológica como un espacio regulatorio funcional en una escala intermedia entre unidades geohidrológicas naturales y unidades político-administrativas, puede ser una alternativa potencialmente viable que permitiría la integración de la información de los principales usos del agua y el contexto de cuenca como condicionante para un uso sostenible.

Ésa es la perspectiva que se mantiene en los trabajos presentados. Para ello se comparan tres subregiones hidrológicas de México que representan distintas condiciones climáticas e hidrológicas: la subregión Río San Juan, la subregión Valle de México y la subregión Bajo Grijalva. Estas subregiones circunscriben además tres importantes zonas metropolitanas: Monterrey, Ciudad de México y Villahermosa. Cada capítulo del libro presenta el análisis comparativo de los tres estudios de caso a partir de un uso específico o de la viabilidad de implementación del enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Con base en ese enfoque comparativo, los autores reportan hallazgos relevantes para el análisis de la política hídrica y una serie de recomendaciones para mejorar la gestión del agua en México.

