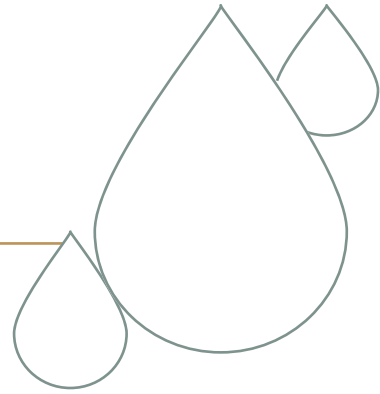


AGUA



INTRODUCCIÓN

La creciente población global y su cada vez mayor capacidad económica, ha conducido inevitablemente a una mayor presión sobre las fuentes de abasto de agua, básicamente como resultado de la necesidad de producir más alimentos y energía, así como de abastecer con mayores volúmenes a las zonas urbanas y a las actividades productivas, principalmente la agricultura y la industria.

La producción y consumo de bienes y servicios no solo ha traído consigo una mayor demanda del líquido, sino también una mayor generación de aguas residuales, de las cuales una proporción importante se vierte sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales. Como resultado, muchos ecosistemas dulceacuícolas y marinos muestran signos evidentes de degradación, con lo cual no solo se han reducido en cantidad y calidad sus servicios ambientales, sino que también se ha perdido, en algunos casos de manera irremediable, su biodiversidad. La contaminación de las aguas superficiales y de los acuíferos reduce inmediatamente la disponibilidad del líquido, lo cual hace necesario procesos e inversiones económicas cuantiosas para su tratamiento y potabilización.

Los efectos sociales, económicos y ambientales de los problemas mencionados podrían agravarse con el cambio climático: de acuerdo con las proyecciones podría aumentar el riesgo de inundaciones y sequías por los cambios en la intensidad y distribución geográfica de la precipitación, disminuir las reservas del agua almacenada en los glaciares y en la nieve, así como incrementar la superficie terrestre con estrés hídrico, entre otras consecuencias. Ante este escenario, el manejo de agua en el mundo y en México representa uno de los más importantes retos ambientales para el futuro.

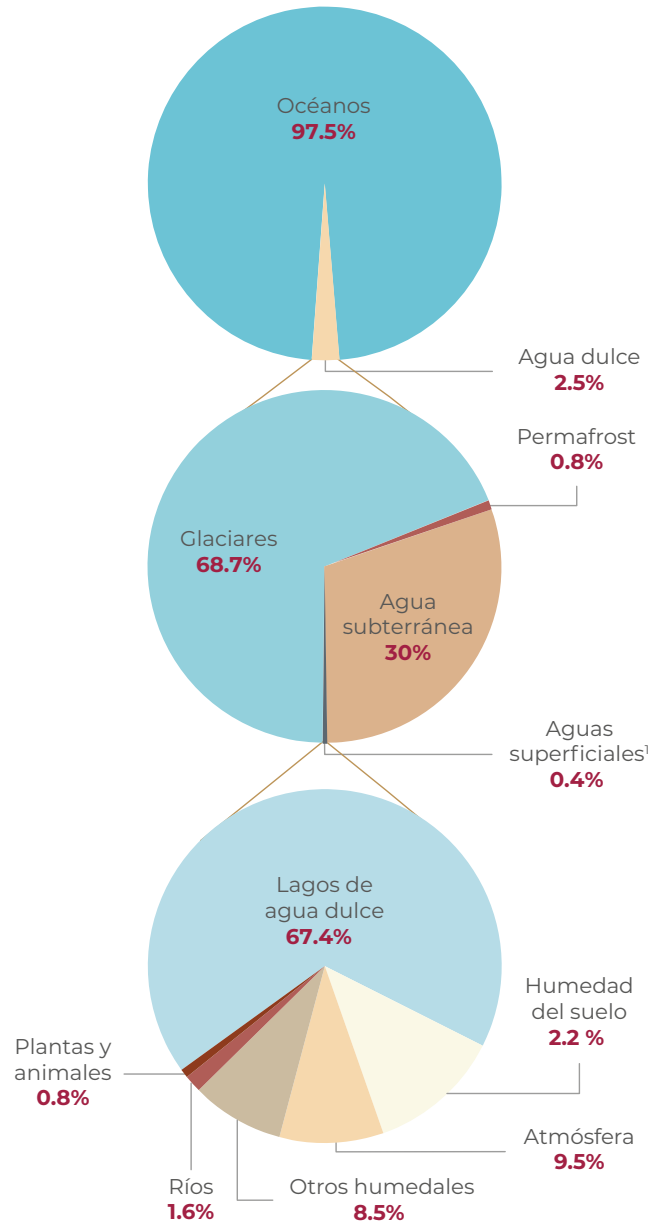
DISPONIBILIDAD DEL AGUA

RESERVAS DE AGUA DULCE EN EL MUNDO

En el planeta existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua, de los cuales 2.5% corresponden a agua dulce, localizada principalmente en ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos (UNEP-GEMS, 2007). Del total de agua dulce, cerca de tres cuartas partes están contenidas en los glaciares y mantos de hielo, la mayoría (97%) en Antártica, el Ártico y Groenlandia. Las aguas superficiales

(lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen de manera muy heterogénea menos del uno por ciento del agua dulce no congelada: tan solo en los lagos del mundo se almacenan más de 40 veces lo contenido en ríos y arroyos (91 000 *versus* 2 120 km³) y aproximadamente nueve veces lo almacenado en los pantanos y humedales (Figura 6.1). La distribución total del agua entre las distintas regiones del planeta puede verse en la Figura 6.2.

Figura 6.1 Distribución del agua en el mundo



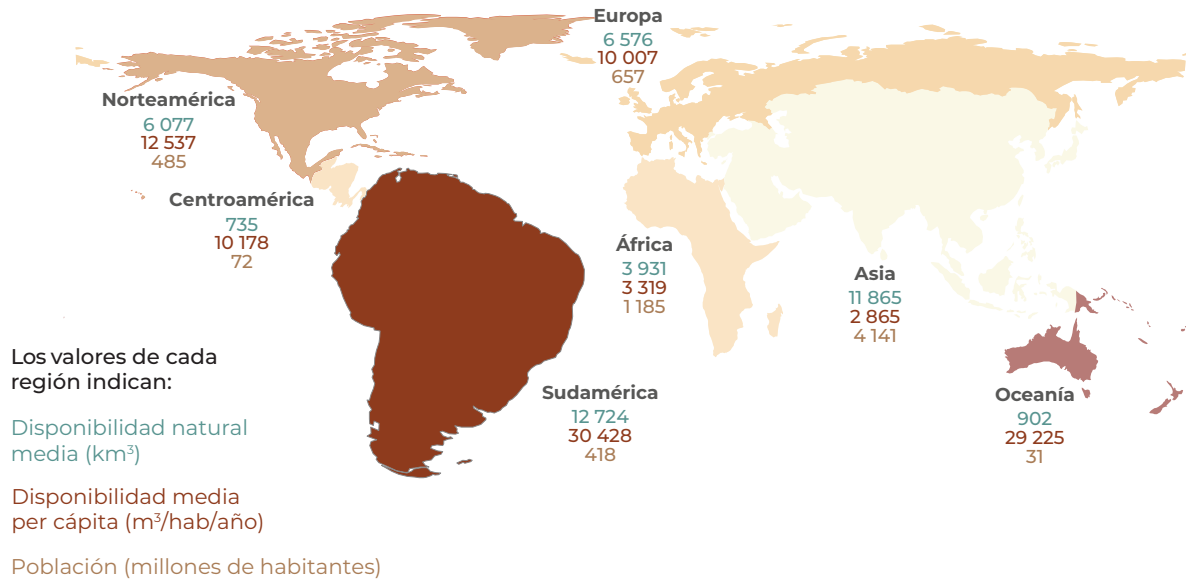
Nota:

¹ Esta cantidad también incluye la humedad atmosférica y del suelo, y el agua en plantas y animales.

Fuente:

PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO4 medio ambiente para el desarrollo*. PNUMA, Dinamarca. 2007.

Figura 6.2 Reserva de agua dulce en el mundo por región,^{1,2,3} 2016



Notas:

- ¹ La superficie de cada continente refleja la disponibilidad de agua natural media con respecto a los demás.
- ² En algunos continentes los valores no comprenden a todos los países que los conforman. En Europa están representados el 89% de los países, en el Caribe el 65% y en Asia el 94%.
- ³ La agrupación de los países se hizo con base en lo presentado en el documento: FAO. *Review of world water resources by country*. FAO. Roma. 2003.

Fuente:

FAO-Aquastat. Recursos hídricos. Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/water_res/indexsp.stm. Fecha de consulta: julio de 2018.

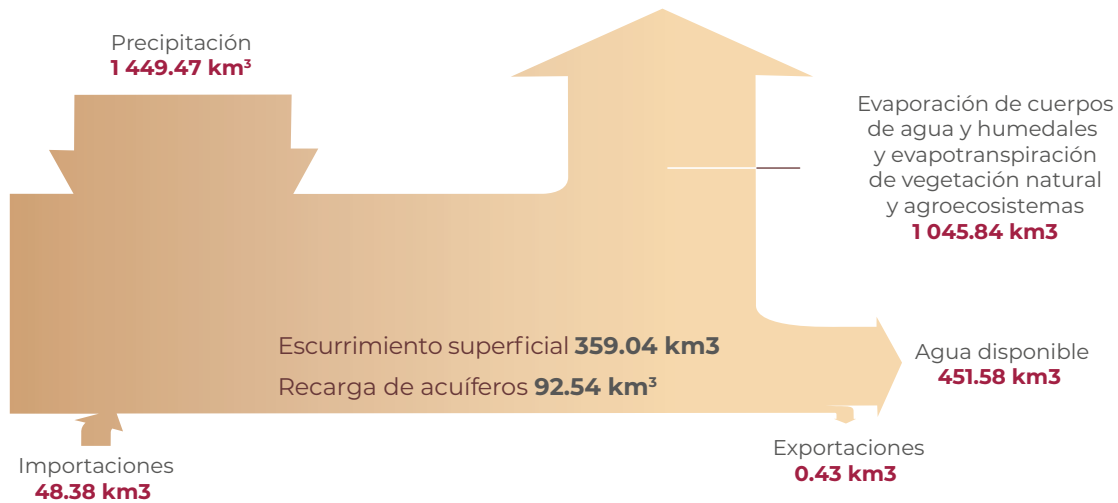
BALANCE HÍDRICO NACIONAL

El agua disponible que tienen los países para el abasto público y las actividades productivas proviene fundamentalmente de la precipitación, aunque en algunos casos se suma la que proviene de los ríos que viajan por otros países y se internan en sus territorios. A ese volumen deben restarse las “pérdidas” del líquido, debidas a lo que se evapora y transpira la vegetación, así como lo que sale por la vía fluvial. Al final, el agua disponible es aquella que circula por ríos y puede depositarse en otros cuerpos de agua, presas y bordos, y la que finalmente se infiltra en los acuíferos o se vacía en las zonas marinas. Este recuento de las entradas y salidas del sistema es lo que se conoce como balance hídrico.

El cálculo más reciente del balance hídrico de México señala que recibe un volumen anual promedio de 1 449 kilómetros cúbicos de agua de precipitación, de los cuales 70% regresa a la atmósfera por evapotranspiración (cuadro D3_AGUA01_04). Además del agua que proviene de la precipitación, el país recibe aproximadamente 48 kilómetros cúbicos por importaciones de los ríos de las fronteras norte y sur y exporta 0.43 kilómetros cúbicos anualmente del río Bravo a los Estados Unidos, de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas internacionales del año 1944. Así, la disponibilidad natural media en el país¹ es de 451.6 kilómetros cúbicos de

agua en promedio al año (Conagua, 2016a; Figura 6.3). De ese volumen, alrededor del 80% corresponde al escurrimiento superficial nacional² (359.04 km³ en 2017) y el restante 20% (92.5 km³) contribuye a la recarga de los acuíferos. El valor de la disponibilidad natural media nacional resulta superior al de la mayoría de los países europeos, pero es bajo en comparación con países como Brasil (8 647 km³), Estados Unidos (3 069 km³) o Canadá (2 902 km³; Aquastat-FAO, 2018).

Figura 6.3 Balance de agua en México, 2017



Fuente:

SINA, Conagua. Ciclo hidrológico. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cicloHidrologico&ver=reporte>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Para calcular el balance hídrico se utilizan valores promedio para un periodo de tiempo particular. Debido a que la precipitación y las otras variables que se utilizan para su cálculo en realidad varían temporalmente en el país. Por ejemplo, en 2013 la precipitación media anual nacional fue de 921 milímetros, esto es, un valor 24.4% por arriba de la precipitación normal para el periodo de referencia 1981-2010 (740 mm; Figura 6.4; cuadros D3_AGUA01_01 y D3_AGUA01_02).

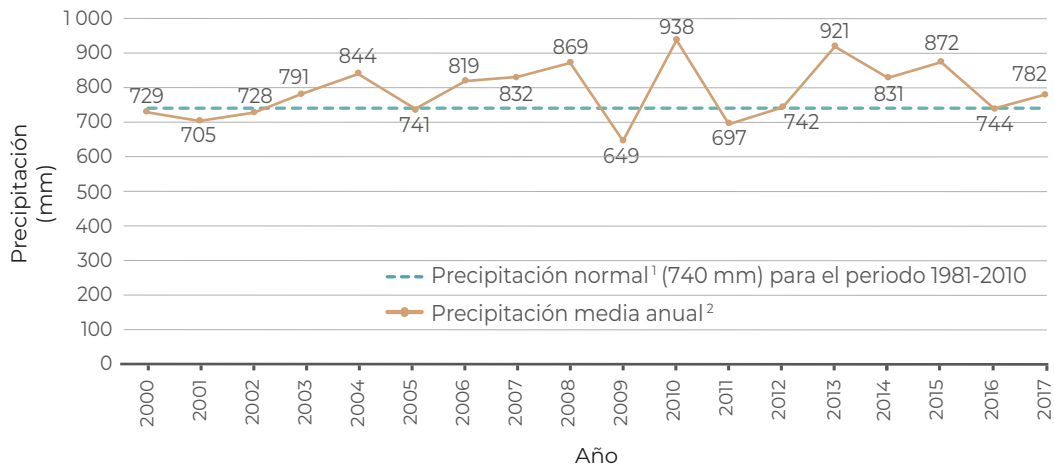
A la variación temporal debe sumarse una importante variación espacial. La diversidad de climas presentes en las regiones hidrológico-administrativas (RHA), en las que se divide el país, producen contrastes en los volúmenes de la precipitación.³ Por ejemplo, en la región Frontera Sur, con un clima cálido húmedo, la precipitación pluvial normal anual entre los años 1981 y 2010 fue casi once veces mayor que la observada en la RHA Península de Baja California en donde predomina el clima seco (1 842 y 168 mm, respectivamente; Mapa 6.1).

¹ Disponibilidad natural media es el volumen total de agua renovable superficial y subterránea que ocurre en forma natural en una región (Conagua, 2016a).

² De acuerdo con la Conagua (Conagua, 2016a), los valores promedio fueron estimados en 2011, al culminar un ciclo de actualización de estudios de cuencas y acuíferos, por lo que se emplean como valores de referencia para el periodo 2011-2018.

³ El país está dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA) definidas de acuerdo con criterios hidrológicos. Esta división considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos. El municipio representa, como en otros instrumentos jurídicos, la unidad mínima de gestión administrativa en el país.

Figura 6.4 Precipitación media normal en México, 2000 - 2017



Notas:

¹ Precipitación normal: precipitación media para un periodo uniforme y relativamente largo. Un periodo climatológico mínimo de 30 años se considera representativo.

² Precipitación media anual: se estima con datos de por lo menos diez años.

Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2017. Conagua. México. 2017.

SINA, Conagua. Precipitación nacional. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=precipitacion&ver=reporte&o=2&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.1 Precipitación normal anual por región hidrológico-administrativa,^{1,2} 1981 - 2010



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

² Las cifras entre paréntesis corresponden a la precipitación normal anual, en milímetros, para el periodo 1981-2010.

Fuente:

SINA, Conagua. Precipitación (regional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=precipitacion&ver=reporte&o=1&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Al igual que la precipitación, el escurrimiento superficial⁴ también varía en la geografía nacional: la región Frontera Sur contabiliza poco más del 34.7% del total nacional (básicamente por la presencia de los ríos Grijalva y Usumacinta), mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán es aproximadamente del uno por ciento (Tabla 6.1; cuadro D3_AGUA01_08). En el caso de Baja California, esto se explica por su escasa precipitación, y en el de Yucatán por su relieve plano y sustrato permeable que impiden la formación de escurrimientos superficiales de importancia.

El escurrimiento superficial nacional fluye por ríos y arroyos a lo largo del territorio. Por los 50 ríos principales fluye poco más del 87% del escurrimiento y sus cuencas cubren cerca del 64% del territorio⁵ (Tabla 6.2; Conagua, 2017b). En el país no existen numerosos lagos de gran tamaño, el volumen almacenado en ellos equivale apenas a cerca del 3% del escurrimiento nacional (Mapa 6.2).

Tabla 6.1 Agua renovable por región hidrológico-administrativa, 2017

Región hidrológico-administrativa	Agua renovable (hm ³ /año)	Escurrimiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	Porcentaje del escurrimiento natural total	Recarga media total de acuíferos (hm ³ /año)	Porcentaje de la recarga total de acuíferos
I Península de Baja California	4 858	3 218	0.9	1 641	1.8
II Noroeste	8 274	5 068	1.4	3 207	3.5
III Pacífico Norte	26 747	23 537	6.6	3 211	3.5
IV Balsas	21 668	16 798	4.7	4 871	5.3
V Pacífico Sur	30 836	28 900	8.0	1 936	2.1
VI Río Bravo	12 844	6 495	1.8	6 350	6.9
VII Cuencas Centrales del Norte	8 024	5 551	1.5	2 474	2.7
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	35 071	25 241	7.0	9 831	10.6
IX Golfo Norte	28 655	24 555	6.8	4 099	4.4
X Golfo Centro	94 363	89 764	25.0	4 599	5.0
XI Frontera Sur	147 195	124 477	34.7	22 718	24.5
XII Península de Yucatán	29 647	4 331	1.2	25 316	27.4
XIII Aguas del Valle de México ¹	3 401	1 106	0.3	2 294	2.5
Total nacional²	451 585	359 041	100	92 544	100

Notas:

¹ Para la RHA XIII se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.

² Conagua considera constante el volumen de agua renovable (así como escurrimiento y recarga) para el periodo 2011 - 2018, debido a que los cálculos de agua renovable se refieren a valores históricos de acuerdo con la disponibilidad de estudios hidrológicos.

Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017.

SINA, Conagua. *Agua renovable (regional)*. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=Reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

⁴ Parte de la precipitación media histórica que se presenta en forma de flujo laminar hacia un curso de agua como arroyos, canales, ríos, lagos u océanos.

⁵ La superficie total del territorio nacional considerada es de 196 437 500 hectáreas o 1 964 375 km² (INEGI, 2017).

Tabla 6.2 Principales cuerpos de agua superficial del país, 2017

Región	Número de ríos o lagos	Longitud total ² (km)	Superficie total de las cuencas (km ²)	Escorrentamiento natural medio superficial (millones de m ³ /año)
Ríos de la vertiente del Pacífico y Golfo de California	33	8 411	581 076	79 179
Ríos de la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe	16	5 174	555 970	227 555
Ríos de la vertiente interior	3	1 789	228 236	8 518
Lagos principales ¹	7	-	1 692	10 410
Totales²	-	15 374	1 365 282	315 252

Notas:

¹ Respecto a los lagos principales, el valor de escurrimiento corresponde a la capacidad de almacenamiento.

² Las sumatorias totales de longitud, superficie de cuencas y escurrimiento natural medio superficial no incluyen los valores de los lagos principales.

Fuentes:

Conagua. Estadísticas del Agua en México. Edición 2016. Conagua, Semarnat. México, 2017.

SINA, Conagua. Ríos principales. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=ríosPrincipales&ver=mapa&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.2 Principales ríos y lagos de México, 2017



- | | | | | |
|--------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------|
| 1 Acaponeta | 13 Concepción | 23 Matape | 33 San Fernando | 43 Tecolutla |
| 2 Ameca | 14 Culiacán | 24 Mayo | 34 San Lorenzo | 44 Tehuantepec |
| 3 Armería | 15 Elota | 25 Nautla | 35 San Nicolás | 45 Tijuana |
| 4 Balsas | 16 Fuerte | 26 Nazas | 36 San Pedro | 46 Tomatlán |
| 5 Baluarte | 17 Grijalva-Usumacinta | 27 Pánuco | 37 Santiago | 47 Tonalá |
| 6 Bravo | 18 Hondo | 28 Papagayo | 38 Sinaloa | 48 Tuxpan |
| 7 Candelaria | 19 Jamapa | 29 Papaloapan | 39 Sonora | 49 Verde |
| 8 Cazones | 20 La Antigua | 30 Piaxtla | 40 Sonoyta | 50 Yaqui |
| 9 Coahuayana | 21 Lerma | 31 Presidio | 41 Soto La Marina | 51 Huicicila |
| 10 Coatán | 22 Marabasco | 32 Quetzala | 42 Suchiate | 52 Nazas-Aguanaval |

Fuente:

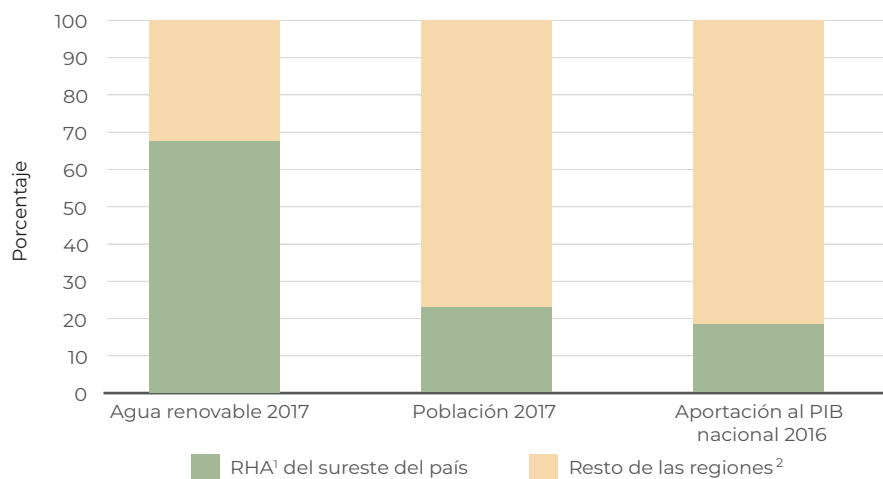
SINA, Conagua. *Ríos principales (nacional)*. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=ríosPrincipales&ver=mapa&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Respecto a la recarga media total de los acuíferos, el mayor porcentaje ocurre en las regiones XII (Península de Yucatán; recarga de 25 316 hm³) y XI (Frontera Sur; 22 718 hm³), lo que representa el 27.4 y 24.5% respectivamente de la recarga total (Tabla 6.1). En contraste, las regiones con menor contribución a la recarga de acuíferos nacional son la I (Península de Baja California, con 1.8% de la recarga total) y la V (Pacífico Sur con 2.1%).

DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA

La disponibilidad natural media total, también llamada “agua renovable”, es muy heterogénea entre regiones: mientras que en la región hidrológico- administrativa XI Frontera Sur se dispone del 39% del agua renovable total nacional (esto es, cerca de 147.2 kilómetros cúbicos anuales en poco más del 5% del territorio nacional), en la región XIII Aguas del Valle de México apenas se dispone del 0.8% del total (3.4 kilómetros cúbicos anuales en 0.9% del territorio; Tabla 6.1 y Mapa 6.3). La disponibilidad de agua no coincide ni con la distribución de la población en el territorio ni con la generación regional del producto interno bruto (PIB; Mapa 6.3). Si se toman en conjunto las cuatro regiones hidrológicas del sureste del país (V Pacífico Sur, X Golfo Centro, XI Frontera Sur y XII Península de Yucatán), en ellas se concentra cerca del 67% del agua renovable, pero alojan alrededor del 23% de la población nacional y contribuyen con cerca del 18% del PIB nacional (Figura 6.5).

Figura 6.5 Contrastes regionales entre el agua renovable y el desarrollo nacional, 2017



Notas:

¹ Incluye a las regiones hidrológico-administrativas: V Pacífico Sur, X Golfo Centro, XI Frontera Sur y XII Península de Yucatán.

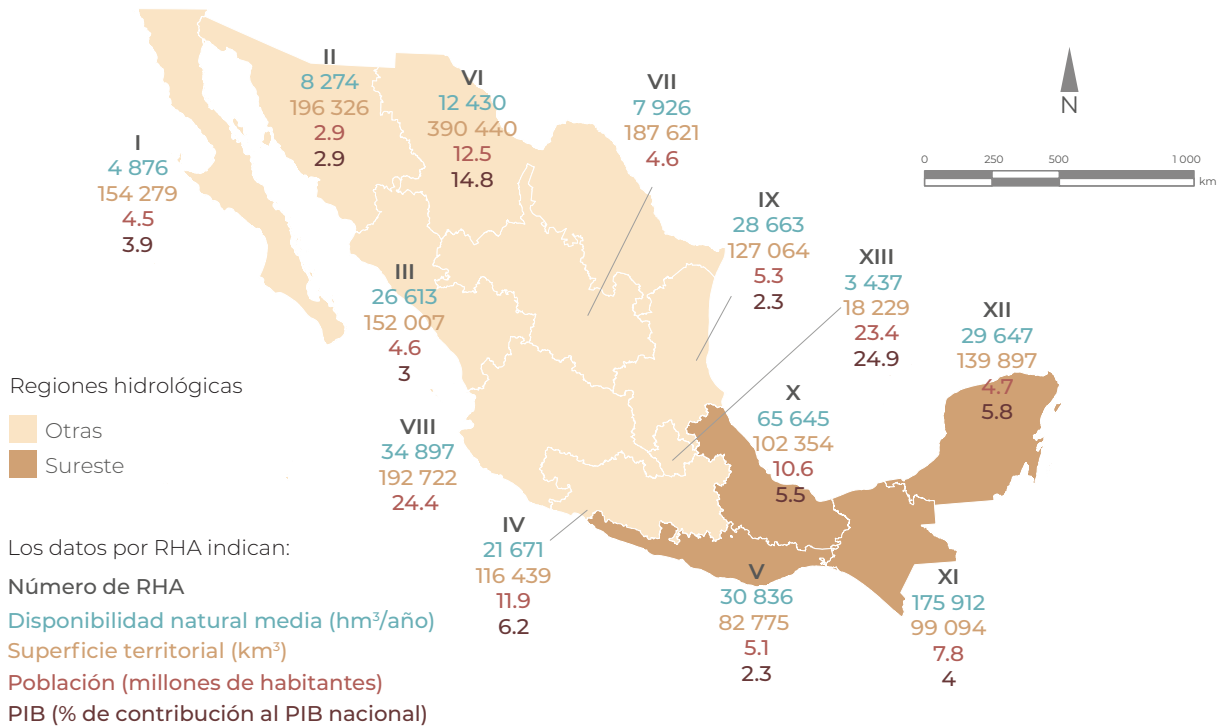
² Incluye a las regiones hidrológico-administrativas: I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte y XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

SINA, Conagua. *Agua renovable (regional)*. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

SINA, Conagua. *Población (regional)*. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=nucleosPoblacion&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.3 Disponibilidad natural media, población y PIB en México,^{1,2} 2016



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

² Los datos de disponibilidad de agua, población y del PIB corresponden al año 2016.

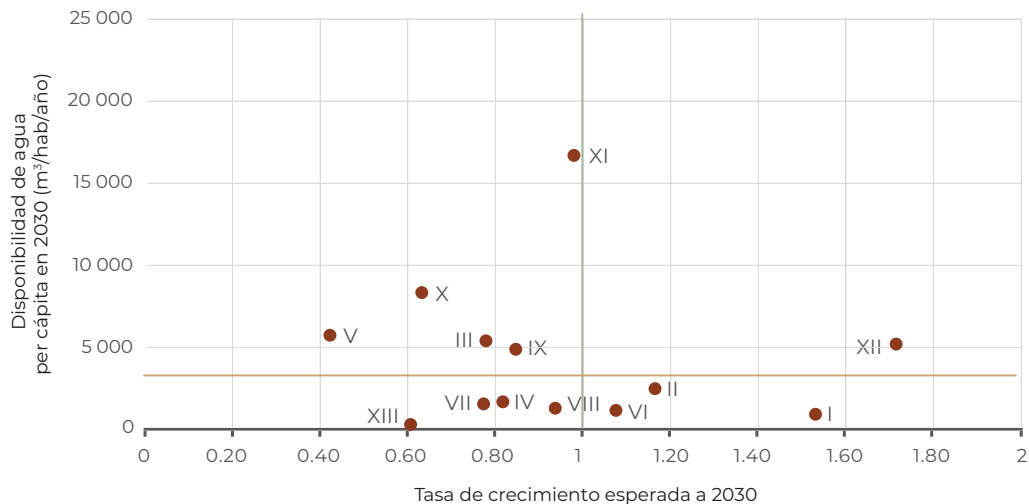
Fuentes:

SINA, Conagua. Agua renovable (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

SINA, Conagua. Población (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=nucleosPoblacion&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Si se analiza la disponibilidad anual media por habitante, la región Aguas del Valle de México tiene actualmente la menor en el país, con solo 144 metros cúbicos por habitante al año, mientras que la región XI Frontera Sur tendría una dotación 130 veces mayor, esto es, de unos 18 776 metros cúbicos per cápita. El volumen de agua per cápita en el país ha disminuido significativamente acorde con el crecimiento poblacional; en 67 años (1950-2017) se redujo en alrededor de 79%, pasando de 17 742 a 3 656 metros cúbicos por habitante y seguirá reduciéndose. Para el año 2030 podría ser 10.1% menor respecto al año 2017, pasando a 3 285 metros cúbicos por habitante (IB 2.1-5). Las regiones que podrían verse más afectadas serían la XII Península de Yucatán (con una reducción del 18.2% respecto a su valor en 2017), I Península de Baja California (16.6%) y II Noroeste (13.1%). Por otro lado, las menos afectadas por la reducción de la disponibilidad del líquido podrían ser V Pacífico Sur (5.1%), XIII Aguas del Valle de México (7.2%) y X Golfo Centro (7.6%; Figura 6.6).

Figura 6.6 Proyección de la disponibilidad natural media de agua per cápita por región hidrológico-administrativa^{1,2} y tasa de crecimiento esperada



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma Santiago Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán y XIII Aguas del Valle de México.

² La línea naranja representa la disponibilidad per cápita nacional estimada para 2030 (3 285 m³/hab/año).

Fuente:

SINA, Conagua. *Agua renovable (regional)*. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

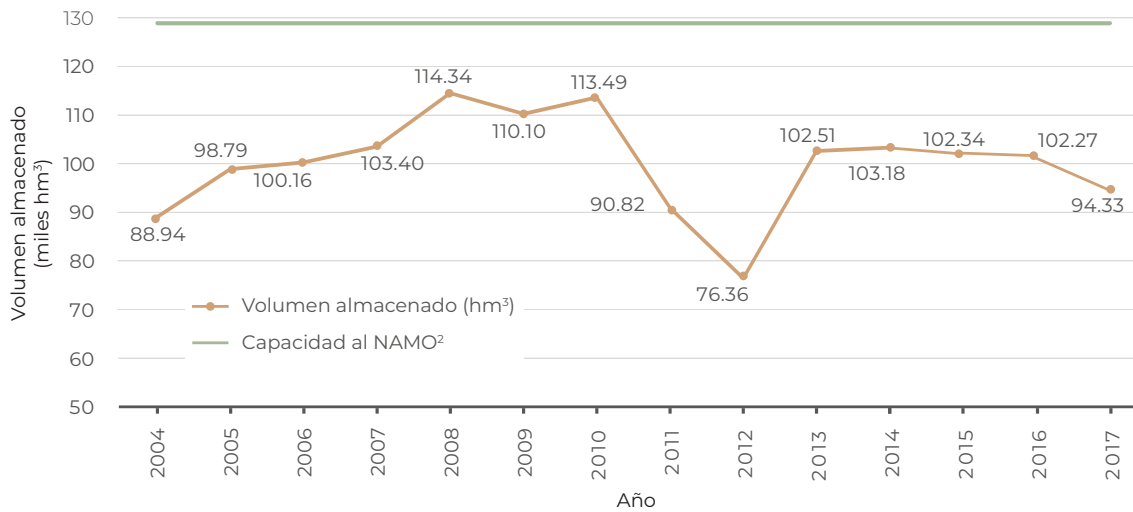
ALMACENAMIENTO EN PRESAS

El abasto del agua para el consumo de la población y para las actividades productivas ha hecho necesario contar con mayores volúmenes del líquido de los que se pueden obtener de las fuentes de suministro más comunes (como los ríos, lagos y acuíferos), por lo que se ha construido infraestructura (por ejemplo, presas, embalses y bordos) para reducir los efectos de las contingencias ocasionadas por la variabilidad natural. La construcción de presas y embalses, además de cumplir con este propósito, sirve también para el control de avenidas y, en algunos casos, para la generación de energía eléctrica.

A nivel nacional existen poco más de 5 100 presas y bordos, que en conjunto almacenan aproximadamente 150 mil hectómetros cúbicos de agua. Sin embargo, gran parte del volumen se concentra en solo 180 presas, que en 2017 almacenaban poco más de 94.3 mil hectómetros cúbicos, cerca del 73% de su capacidad instalada (Figura 6.7; IB 2.1-9). Algunas de las presas del país están clasificadas como grandes presas⁶ de acuerdo con la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés, 2018). En el Mapa 6.4 se muestra la distribución de este tipo de presas, por región hidrológico-administrativa, y que cuentan con una capacidad mayor a los 1 000 hectómetros cúbicos.

⁶ Presas cuya altura sobre el cauce es mayor de 15 metros o una capacidad superior a 3 millones de metros cúbicos al nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), que se refiere al nivel más alto que debe alcanzar el agua en un vaso de almacenamiento (presa) bajo cualquier condición.

Figura 6.7 Volumen de agua almacenado en las principales¹ presas del país, 2004-2017



Notas:

¹ Se incluyen 180 presas, que representan alrededor del 80% del almacenamiento nacional.

² NAMO: nivel de aguas máximas ordinarias. Coincide con la elevación de la cresta del vertedor en el caso de una estructura que derrama libremente; si la presa tiene compuertas, es el nivel superior de éstas.

Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2016. Conagua. México, 2017.

SINA, Conagua. *Principales presas (nacional)*. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=presasPrincipales&ver=reporte&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

La cantidad de agua que consumen los diferentes sectores difiere entre países y regiones debido a sus características ambientales, socioeconómicas y poblacionales. La agricultura, con excepción de Europa, es el mayor sector consumidor de agua a nivel mundial (entre 70 y 90% del total), seguido del sector público (entre 7 y 18%) y, en menor proporción, el sector industrial (de 1 a 11%; Aquastat-FAO, 2018).

En México, la Conagua clasifica a los consumidores de agua en tres sectores: agrícola, abastecimiento público e industrial.⁷ En 2017, el volumen que se concesionó a estos usos consuntivos fue 21% mayor al registrado en 2001, pasando de 72.7 a 87.9 kilómetros cúbicos; esta última cifra representa el 19.2% del agua renovable total (451.6 km³). En 2017, además de los 87.9 kilómetros cúbicos concesionados a los sectores antes mencionados, se concesionaron 183 kilómetros cúbicos adicionales para usos no consuntivos,⁸ en particular, para la generación de electricidad en hidroeléctricas.

⁷ El Repda (Registro Público de Derechos del Agua) inscribe los volúmenes que se concesionan o asignan a los usuarios de aguas nacionales y clasifica los usos del agua en doce categorías. Así, en el uso agrícola se incluyen los rubros: agrícola, acuacultura, pecuario, usos múltiples y otros usos. En abastecimiento público: doméstico y público urbano. Y, en industria autoabastecida: agroindustria, servicios, industrial y comercio. La generación de energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad).

⁸ De acuerdo con la Conagua (Conagua, 2016b), el uso no consuntivo se define como el volumen de agua de una calidad determinada que se usa para llevar a cabo una actividad específica y en donde la diferencia entre el volumen y calidad del agua que se extrae y se devuelve al medio ambiente no es significativamente diferente.

Mapa 6.4 Presas más grandes del país por región hidrológico-administrativa,^{1,2} 2017



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

² Sólo se muestran las 23 presas más grandes del país, con capacidad mayor o igual a 1 000 hm³.

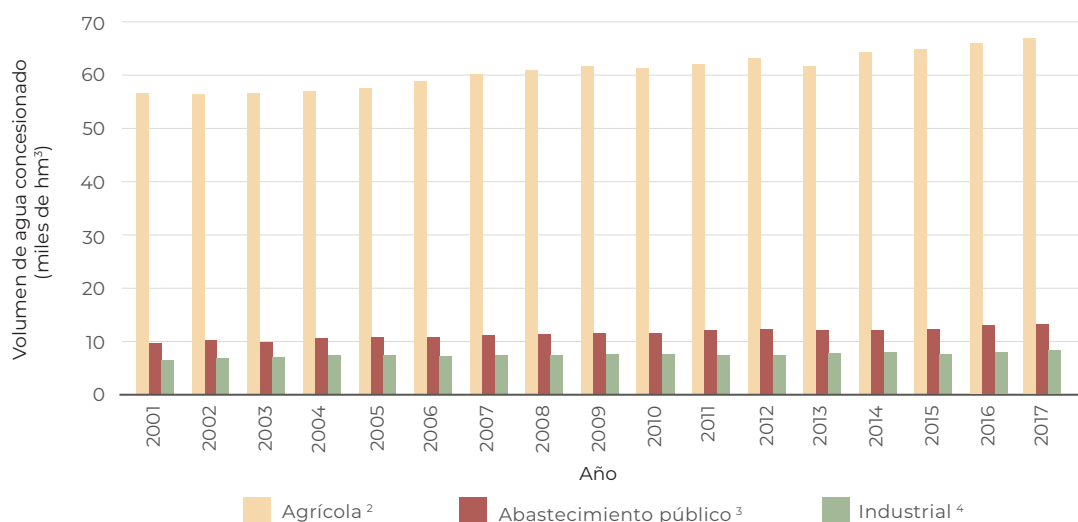
Fuente:

SINA, Conagua. Principales presas (nacional). Disponible en <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=presasPrincipales&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Si se detalla la concesión de agua en 2017 a los tres usos consuntivos principales se observa que 66.8 kilómetros cúbicos le correspondieron al sector agrícola (76.3% del total concesionado), 12.6 km³ al abastecimiento público (14.4%) y 8.5 km³ a la industria: 4.3 a la industria autoabastecida (4.9%) y 4.2 a energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad (4.7%). El sector que más ha crecido en cuanto al volumen concesionado entre 2001 y 2017 fue el abastecimiento público, que se incrementó 32.8%, mientras que los sectores agrícola e industrial aumentaron 18.3 y 26.9% (Figura 6.8; IB 2.1-2).

A nivel de regiones hidrológicas, el 53.7% (47 209 hm³) del volumen concesionado en 2017 correspondió únicamente a cuatro regiones: VIII Lerma Santiago Pacífico (15 845 hm³, 18% del total), IV Balsas (10 874 hm³, 12.4%), III Pacífico Norte (10 811 hm³, 12.3%) y VI Río Bravo (9 680 hm³, 11%). Por el contrario, las regiones que menos agua concesionaron fueron V Pacífico Sur (1 579 hm³, 2% del total) y XI Frontera Sur (2 547 hm³; 3%), que juntas representan apenas cerca del 5% del total nacional (Mapa 6.5).

Figura 6.8 Volumen de agua concesionado¹ por sector, 2001 - 2017



Notas:

¹ El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.

² El uso agrícola incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA.

³ El uso abastecimiento público incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.

⁴ El uso industrial incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA, así como el agua para la generación de energía eléctrica (termoeléctricas, sin considerar a las hidroeléctricas, cuyo uso es no consuntivo).

Fuentes:

CNA. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002-2004. CNA. México, 2002-2004.

Conagua. *Estadísticas del agua en México*. Síntesis 2005. Conagua. México, 2005.

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006-2008, 2010, 2011, 2013-2015. Conagua, Semarnat. México, 2006-2008, 2010, 2011, 2013-2015.

SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Volúmenes Inscritos (nacional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte>. Fecha de consulta: julio de 2018.

La diferencia en el volumen concesionado a los diferentes sectores entre regiones hidrológico-administrativas responde básicamente a la distribución de las actividades productivas y a la población asentada en el territorio. En 2017 la mayoría de las regiones concesionaban más del 70% del líquido a las actividades agrícolas, exceptuando las regiones XIII Aguas del Valle de México, IV Balsas y X Golfo Centro (Figura 6.9; cuadro D3_AGUA03_03). Respecto al agua para abasto público, las regiones que proporcionalmente concesionaron más fueron XIII Aguas del Valle de México (2 141 hm³; 44.5% del total concesionado a la región), V Pacífico Sur (419 hm³, 26.5%) y XI Frontera Sur (583 hm³, 22.9%). El agua destinada al uso industrial es por lo general inferior al volumen que se destina al abastecimiento público, excepto en la región IV Balsas,⁹ donde su volumen concesionado fue cerca de tres veces mayor (3 510 hm³; 32% del total de la región) y X Golfo Centro¹⁰ 1 614 hm³; 26.6%).

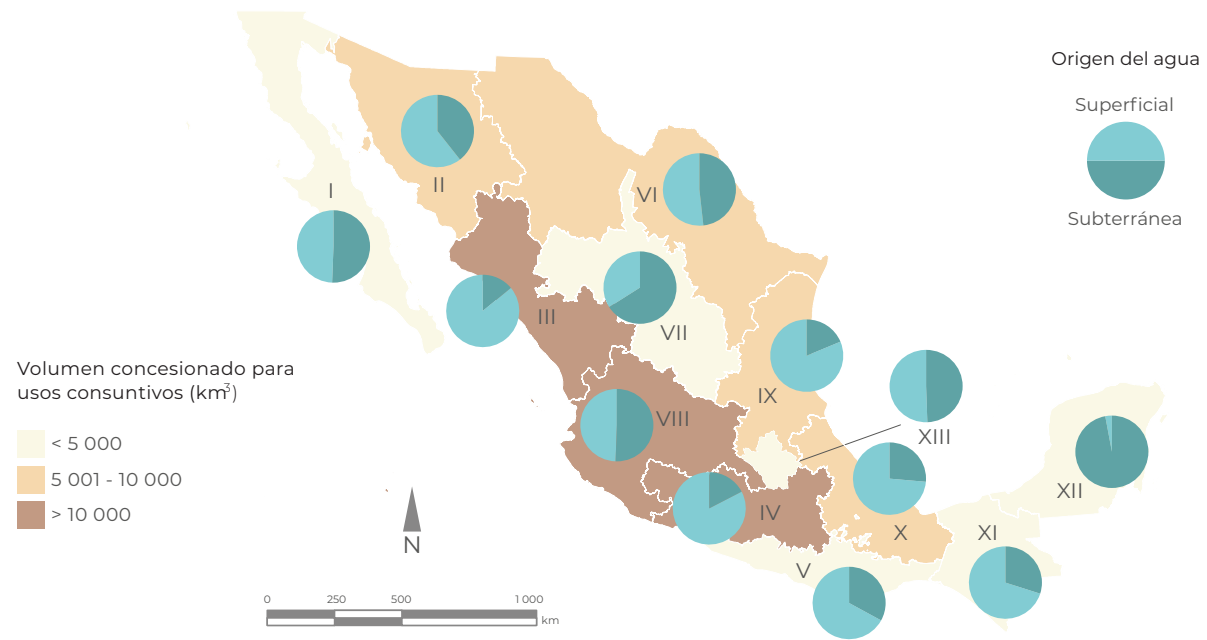
De acuerdo con la fuente de abasto, el agua que se concede en el país proviene ya sea de cuerpos de agua superficiales (ríos, arroyos y lagos) o bien, de fuentes subterráneas (acuíferos). A nivel nacional, en 2017, el 61% del agua concesionada

⁹ De acuerdo con Conagua (Conagua, 2016b) el uso industrial de la región del río Balsas se compone principalmente de: industria química, producción de azúcar, petróleo, celulosa y papel. En termoeléctricas se incluyen centrales de vapor duales, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbo gas y de combustión interna.

¹⁰ De acuerdo con Conagua (Conagua, 2016b), el uso industrial de la región del Golfo Centro está compuesto principalmente de: industria termoeléctrica, minera, petroquímica, metálica básica y eléctrica, alimentaria, manufacturera (de alimentos, bebidas y textiles); productos a base de minerales no metálicos como el vidrio, refinación de petróleo y química básica.

provino de fuentes superficiales, mientras que el restante 39% de fuentes subterráneas. Esta proporción ha variado poco en el tiempo a pesar del crecimiento del volumen de agua concesionada: en el caso del agua superficial se incrementó 18.4% entre 2001 y 2017 (pasó de poco más de 45 a 53.5 mil hm³), mientras que en el del agua subterránea aumentó más de 25% al pasar de 28 a 34.4 hm³ (Figura 6.10; IB 2.1-3).

Mapa 6.5 Volumen de agua concesionado por región hidrológico-administrativa y origen,^{1,2} 2017



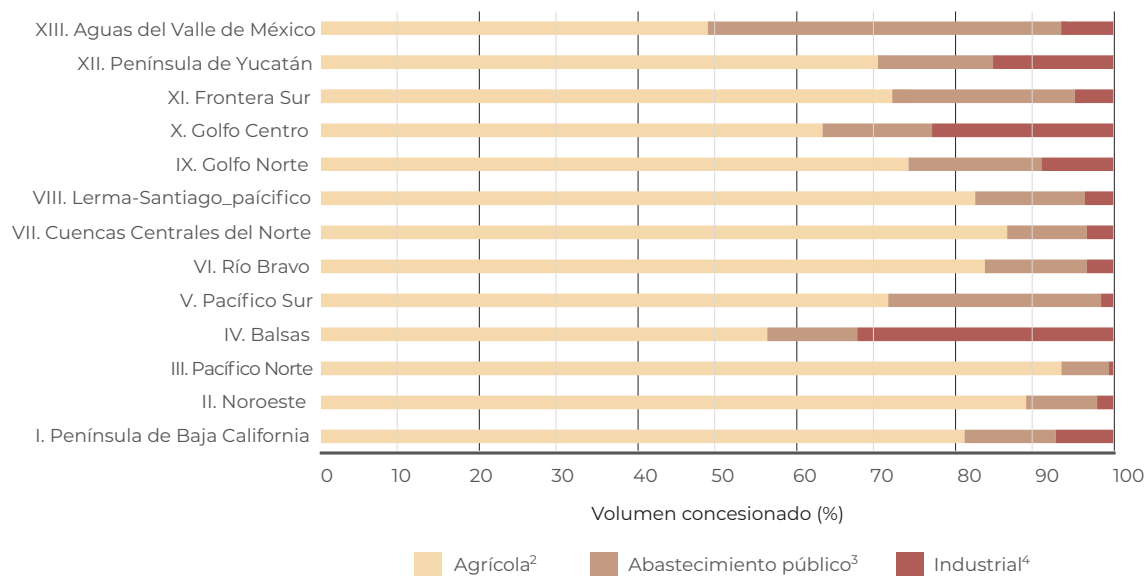
Notas:
¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.
² El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.
Fuente:
 SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPGA). Volúmenes Inscritos (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Existen diferencias marcadas entre regiones respecto a la proporción de agua superficial y subterránea que utilizan. En 2017, las regiones III Pacífico Norte, VI Balsas, IX Golfo Norte y X Golfo Centro utilizaron en mayor proporción el agua de origen superficial (86, 83, 81 y 74%, respectivamente), mientras que en las regiones XII Península de Yucatán y VII Cuencas Centrales del Norte el mayor porcentaje correspondió al origen subterráneo (97 y 66%, respectivamente; Mapa 6.5; cuadro D3_AGUA03_03).

Al analizar el origen del agua por uso consuntivo, en 2017 la mayor proporción de agua para uso agrícola e industrial (incluyendo la generación de energía eléctrica) provino de fuentes superficiales (64 y 68%, respectivamente); en contraste, el agua destinada al uso público en su mayoría se extrajo de fuentes subterráneas (58%). Entre 2001 y 2017 el volumen de agua concesionado de origen superficial aumentó

15.3% para el uso agrícola (de 36.8 a 42.4 km³), 59% para el abastecimiento público (de 3.3 a 5.3 km³) y 6% para el uso industrial (de 5 a 5.3 km³; Figura 6.11; cuadro D3_AGUA03_03). En el mismo período, el agua de origen subterráneo para uso agrícola se incrementó 23.8% (de 19.65 a 24.3 km³); 18% para abastecimiento público (de 6.25 a 7.4 km³) y 68.6% para el uso industrial (de 1.59 a 2.7 km³; Figura 6.11).

Figura 6.9 Volumen de agua concesionado¹ por tipo de uso consuntivo y región hidrológico-administrativa, 2017



Notas:

- ¹ El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.
- ² El uso agropecuario incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA.
- ³ El uso abastecimiento público incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.
- ⁴ El uso industrial incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA, así como el agua para la generación de energía eléctrica (termoeléctricas, sin considerar a las hidroeléctricas cuyo uso es no consuntivo).

Fuentes:

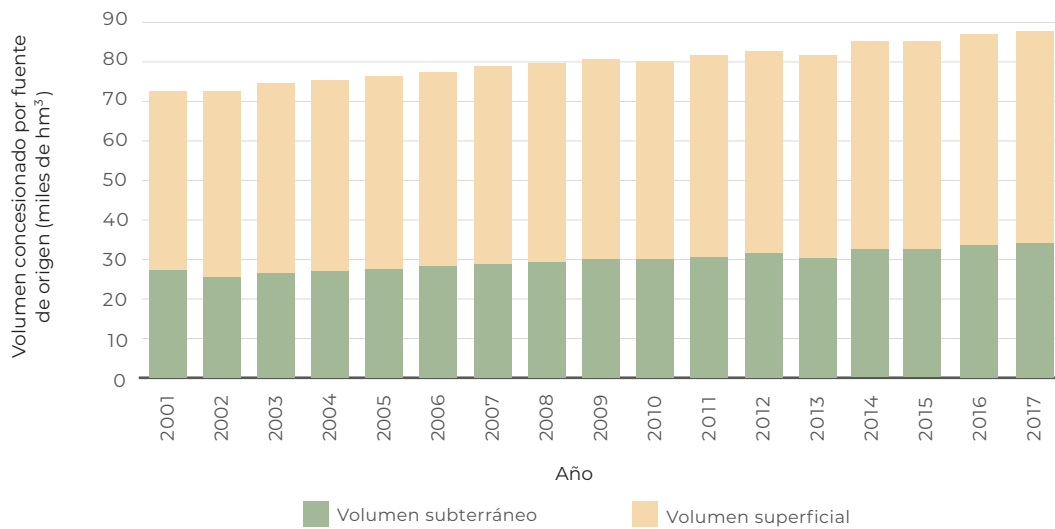
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2017. Conagua. México, 2017.
 SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Volúmenes Inscritos (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Si se observa el uso del agua a nivel municipal, en 2017 en poco más del 76% de los municipios (1 865) se concesionaron hasta 25 hm³ de agua, en 16% (397 municipios) estuvo entre los 26 y 100 hectómetros cúbicos, en 7% el volumen fue de 101 a 500 hectómetros cúbicos (177 municipios) y en poco menos del uno por ciento de los municipios (19) se concesionaron más de 500 hectómetros cúbicos (Mapa 6.6).

Con respecto a los usos consuntivos, en 2013 en poco más del 63% de los municipios (1 554 en total) dominaba el uso agrícola, seguido del abastecimiento público (casi 33%, en 803 municipios) y apenas 2.2% en industria autoabastecida (55 municipios; Mapa 6.7).

De acuerdo con el origen del agua concesionada en 2017, en 1 399 municipios (62.6% del total) la fuente predominante fueron las aguas superficiales, mientras que en 999 (casi 35% de los municipios) prevaleció la fuente subterránea; en el resto de los municipios (64; casi el 3%) no predominó una fuente sobre otra (Mapa 6.8).

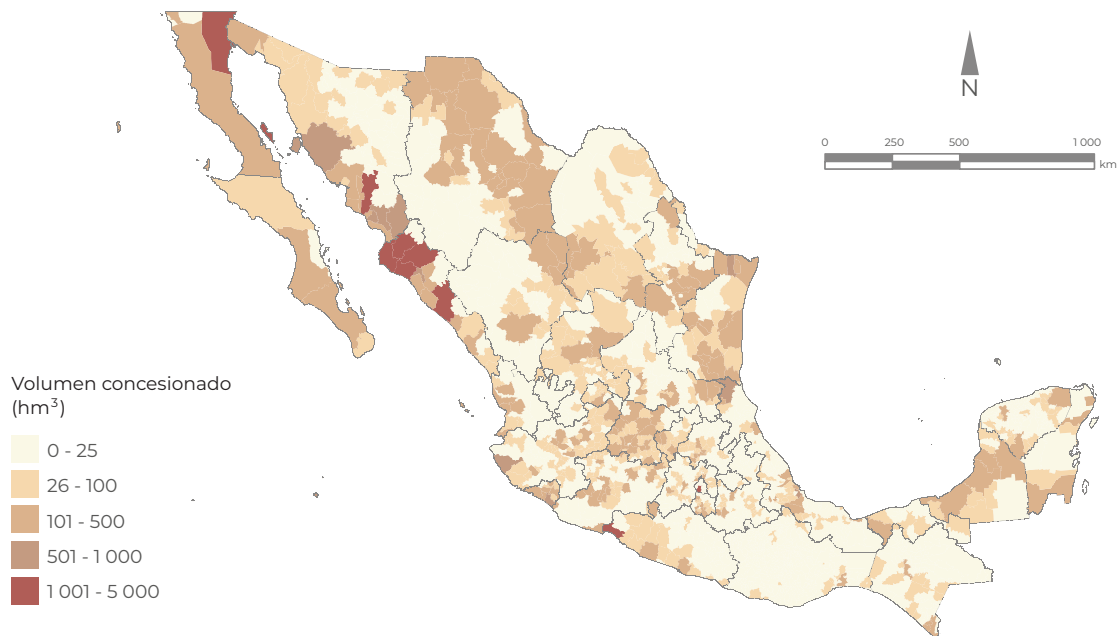
Figura 6.10 Volumen de agua concesionado por origen, 2001 - 2017



Fuentes:

CNA. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002, 2003, 2004. CNA. México. 2002, 2003, 2004.
 Conagua. *Estadísticas del agua en México*. Síntesis 2005. Conagua. México, 2005.
 Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006 - 2008, 2010, 2011, 2013-2015. Conagua. México. 2006-2008, 2010, 2011, 2014-2017.
 SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPGA). Volúmenes Inscritos (regional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

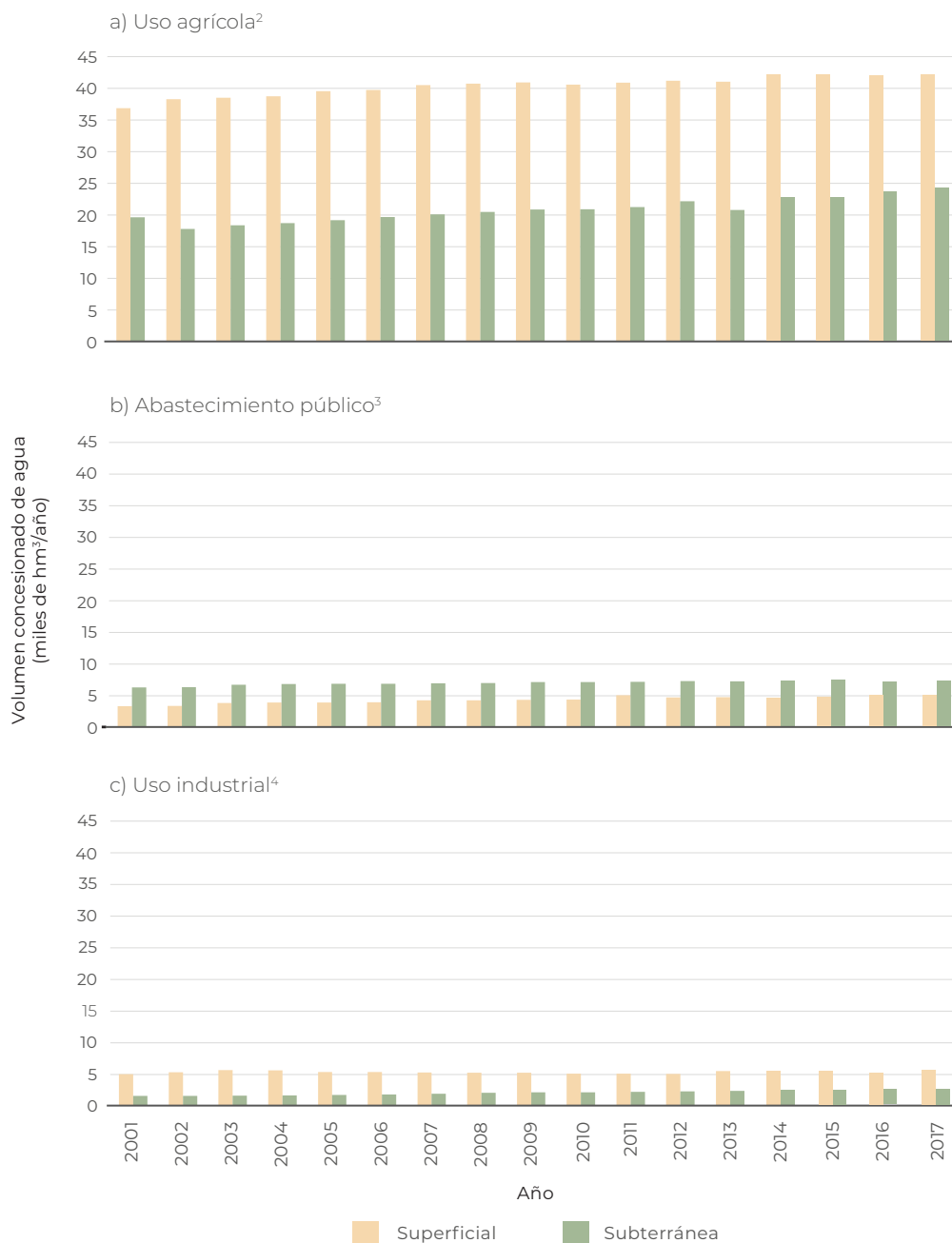
Mapa 6.6 Volumen de agua concesionada por municipio, 2017



Fuente:

SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPGA). Volúmenes Inscritos (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=mapa&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.11 Volumen de agua concesionado¹ por uso consuntivo, según origen, 2001 - 2017



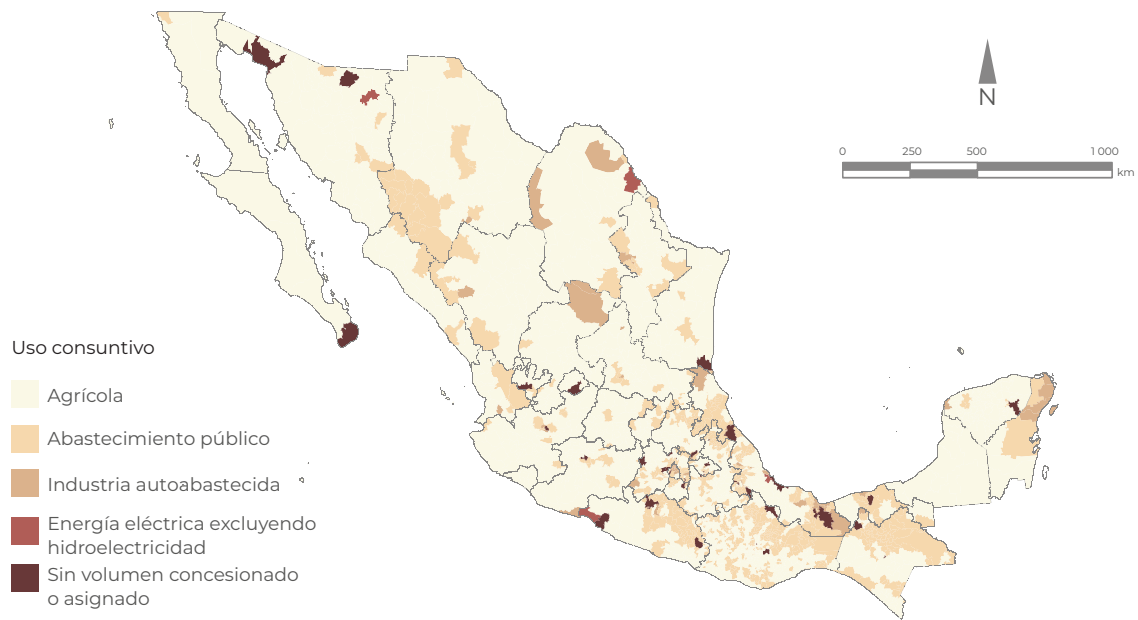
Notas:

- ¹ El volumen concesionado está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.
- ² El uso agrícola incluye los rubros agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA.
- ³ El uso abastecimiento público incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.
- ⁴ El uso industrial incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA, así como el agua para la generación de energía eléctrica (termoeléctricas, sin considerar a las hidroeléctricas, cuyo uso es no consuntivo).

Fuentes:

CNA. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002, 2003, 2004. CNA. México. 2002, 2003, 2004.
 Conagua. *Estadísticas del agua en México*. Síntesis 2005. Conagua. México. 2005.
 Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006-2008, 2010, 2011, 2013-2015. Conagua. México. 2006-2008, 2010, 2011, 2014-2017.
 SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Volúmenes Inscritos (regional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.7 Uso consuntivo predominante del agua por municipio, 2013



Fuente:

SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) / Volúmenes Inscritos (nacional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=mapa&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.8 Fuente predominante para usos consuntivos por municipio, 2017



Notas:

¹ Cuando existe una diferencia menor al 50% entre fuentes superficiales y subterráneas, entonces no existe fuente predominante y se designan como fuentes similares.

² Sin uso consuntivo inscrito en el Registro Público de Derechos de Agua.

Fuente:

SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) / Volúmenes Inscritos (nacional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=mapa&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

EL AGUA EN LA AGRICULTURA

En México, la agricultura es el sector que más agua consume (Conagua, 2016b): en 2017 recibió 76% del volumen concesionado (66 799 hm³), principalmente para riego, aunque incluye también a las actividades pecuarias y acuícolas. El líquido que se concesiona a la agricultura se destina a los distritos de riego, los cuales cubren el 18% del área total agrícola (Conagua, 2017b; Siacon 2018) y produjeron, en 2013, cerca del 80% de la producción nacional.¹¹

Uno de los retos para avanzar hacia un uso sustentable del agua es aumentar la eficiencia del sector agrícola, esto es, reducir su consumo de líquido aumentando paralelamente la producción obtenida. Además de contribuir a detener el aumento de su demanda, el aumento de la eficiencia puede ayudar a reducir la competencia entre los sectores consumidores del líquido y la presión sobre las fuentes de abasto (ver el recuadro [Agua virtual en México](#)).

La productividad del agua en los distritos de riego es un indicador útil para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el líquido en la producción agrícola; este indicador depende no solo de la conducción desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas, sino también del tipo de cultivo y de cómo se utiliza en ellas (Conagua, 2017a). Las figuras 6.12 y 6.13 muestran la evolución de la productividad en los distritos de riego (considerando cultivos de riego y no de temporal) para el periodo comprendido entre 1994 y 2016. En la Figura 6.13 se observa, a pesar de ciertas oscilaciones, una tendencia creciente de la productividad; en el último año agrícola 2016-2017, se registró un valor de 1.82 kilogramos de biomasa de producto por cada metro cúbico de agua utilizado.

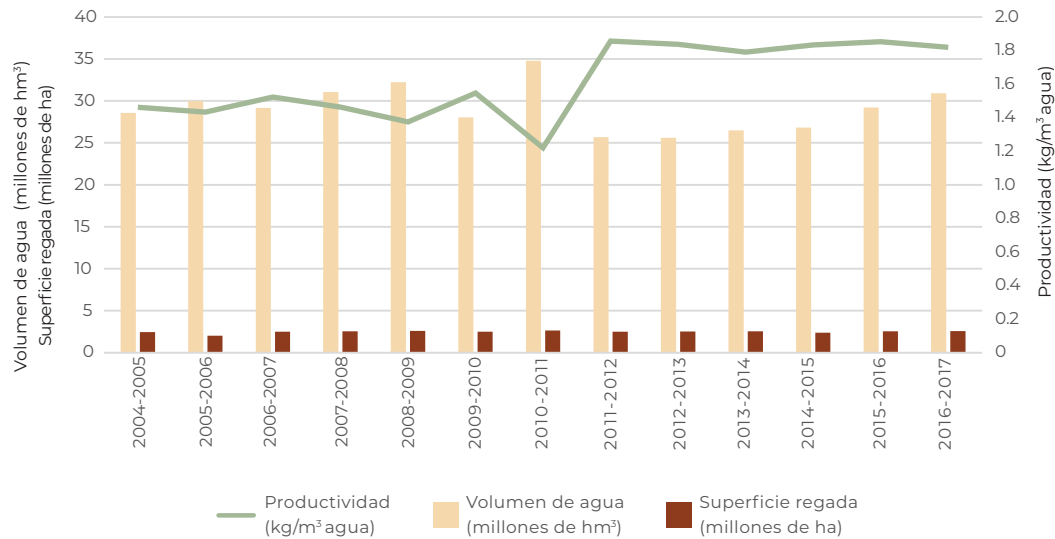
En el año agrícola 2015-2016, los distritos de riego con menor eficiencia productiva fueron los ubicados en la región III Pacífico Norte (1.4 kg/m³), seguidos por los de la región II Noroeste (1.85 kg/m³); en contraste, los más productivos fueron los ubicados en las regiones IX Golfo Norte, XII Península de Yucatán y XI Frontera Sur (con productividades de 14.8, 10.1 y 5.2 kg/m³, respectivamente; Mapa 6.9).

ABASTECIMIENTO PÚBLICO

El agua para el abasto público corresponde a la que se entrega por las redes de agua potable y que abastece a los usuarios domésticos, así como al sector público urbano. Es el sector con el segundo mayor consumo de agua en el país: en 2017 utilizó el 14.4% del volumen total concesionado, siendo su principal fuente de abasto los acuíferos (58% del volumen para este uso, 7 378 hm³); no obstante, puede observarse que durante el periodo 2001-2017 la demanda de agua superficial asignada a este sector creció 59% (pasó de 3 306 a 5 250 hm³; Figura 6.14).

¹¹ El sistema de información agroalimentaria de consulta (SIACON) es una plataforma creada por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), para la difusión de las estadísticas del ramo. Las consultas en SIACON pueden realizarse a través de dos módulos: 1) agrícola estatal y 2) agrícola municipal.

Figura 6.12 Volumen concesionado para uso agrícola en los distritos de riego en México,¹ 2017



Nota:

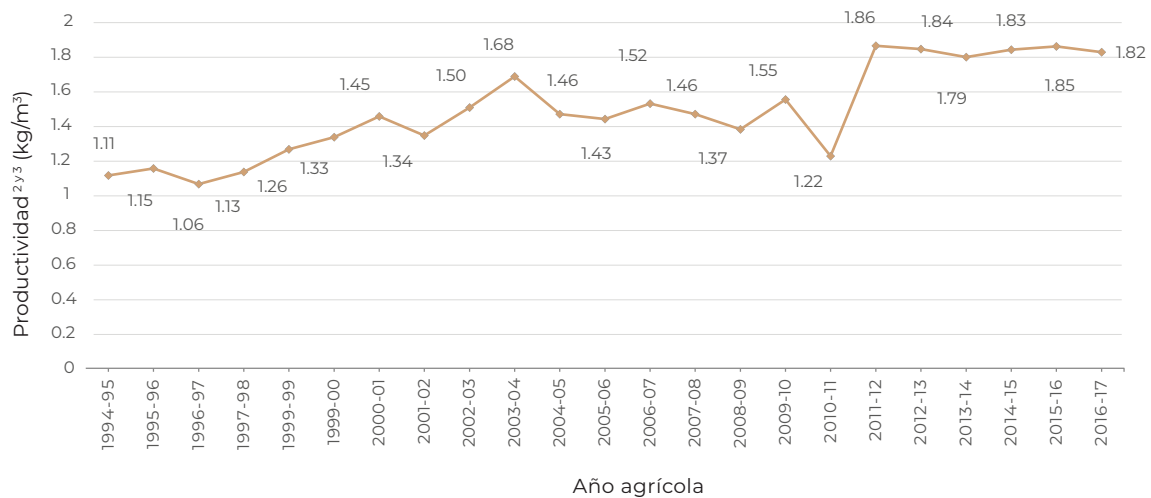
¹ La estimación de la productividad considera la producción agrícola en la modalidad de riego y de temporal.

Fuentes:

IMTA, Conagua. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Estadísticas hidrométricas*. Disponible en: <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaHidrometrica/serie.php>. Fecha de consulta: julio de 2018.

IMTA, Conagua. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Estadísticas agrícolas*. Disponible en: www.edistritos.com/DR/estadisticaAgricola/serie.php. Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.13 Eficiencia del uso del agua en los distritos de riego por año agrícola¹



Notas:

¹ El año agrícola en México comprende el periodo de octubre a septiembre del siguiente año.

² El cálculo emplea el volumen de agua bruto utilizado en los distritos de riego correspondiente al ciclo vegetativo, por lo que no coincide con los volúmenes anuales utilizados.

³ La estimación de la productividad considera la producción agrícola en la modalidad de riego y de temporal.

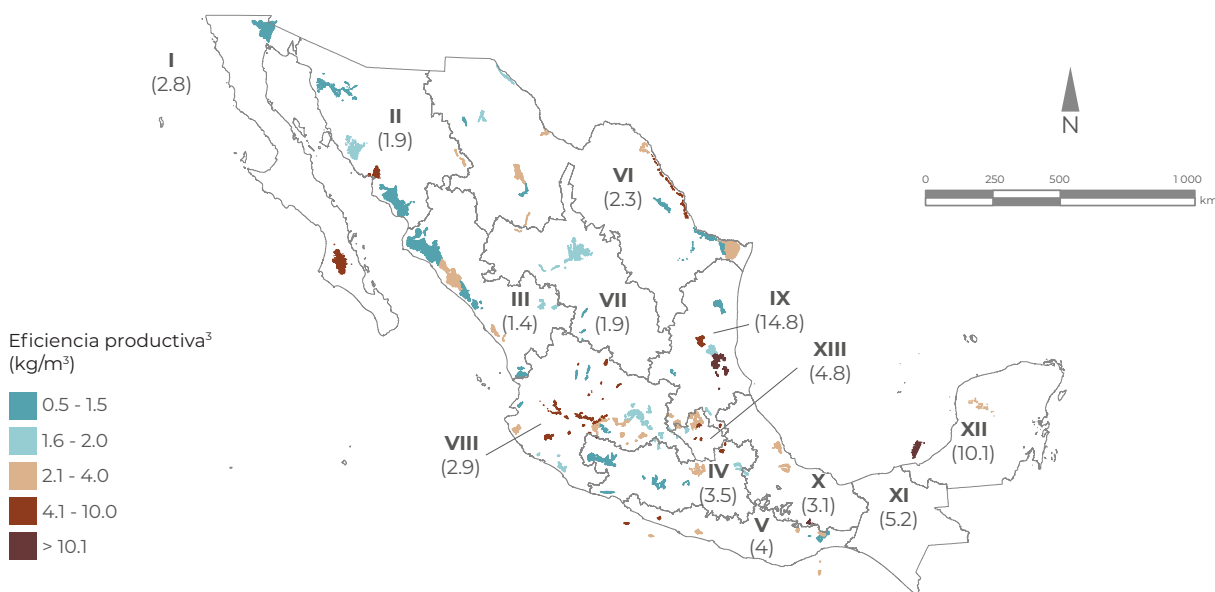
Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2017. Conagua. México, 2017.

IMTA, Conagua. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Estadísticas hidrométricas*. Disponible en: www.edistritos.com/DR/estadisticaHidrometrica/serie.php. Fecha de consulta: julio de 2018.

IMTA, Conagua. *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Estadísticas agrícolas*. Disponible en: www.edistritos.com/DR/estadisticaAgricola/serie.php. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.9 Productividad en los distrito de riego en México,^{1,2} 2016



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

² Entre paréntesis se muestra la productividad agrícola en kilogramos por metro cúbico de agua de los DR que se encuentran en cada región hidrológico-administrativa para el año agrícola 2015-2016.

³ La Conagua define distrito de riego como el área geográfica donde se proporciona el servicio de riego mediante obras de infraestructura hidroagrícola tales como vaso de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros.

Fuentes:

IMTA, Conagua. Estadísticas agrícolas. Producción agrícola agrupada por distrito de riego. Conagua. Disponible en: <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaAgricola/pais.php>. Fecha de consulta: marzo de 2018.

IMTA, Conagua. Estadísticas hidrométricas. Total superficies regadas y volúmenes distribuidos a nivel país. Conagua. Disponible en: <http://www.edistritos.com/DR/estadisticaHidrometrica/pais.php>. Fecha de consulta: marzo de 2018.

SINA, Conagua. Distritos y unidades de riego (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=distritosriego&ver=mapa&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: marzo de 2018.

Si se analiza por región hidrológico-administrativa, en 2017 la región XIII Aguas del Valle de México fue la que mayor proporción del volumen de líquido destinó al abastecimiento público (casi 45% del total concesionado), mientras que la región III Pacífico Norte fue la que menor volumen dedicó a este uso con alrededor del 6%. El resto de las regiones fluctuaron entre el 9 y el 27% (Conagua, 2017a y 2017b).

EL USO DE AGUA EN LA INDUSTRIA

La industria autoabastecida y de generación de energía eléctrica¹² utilizó alrededor del 9% del agua concesionada en 2017 (Conagua, 2017a y 2017b). Con respecto a su fuente de abasto, lo dominan las aguas superficiales (osciló entre 68 y 77% en el periodo 2001 y 2017, esto es, entre 5 074 y 5 659 hm³ respectivamente), sin embargo, la extracción de agua subterránea para la industria aumentó poco más del 68.6% entre 2001-2017 alcanzando 2 683 hm³; Figura 6.15).

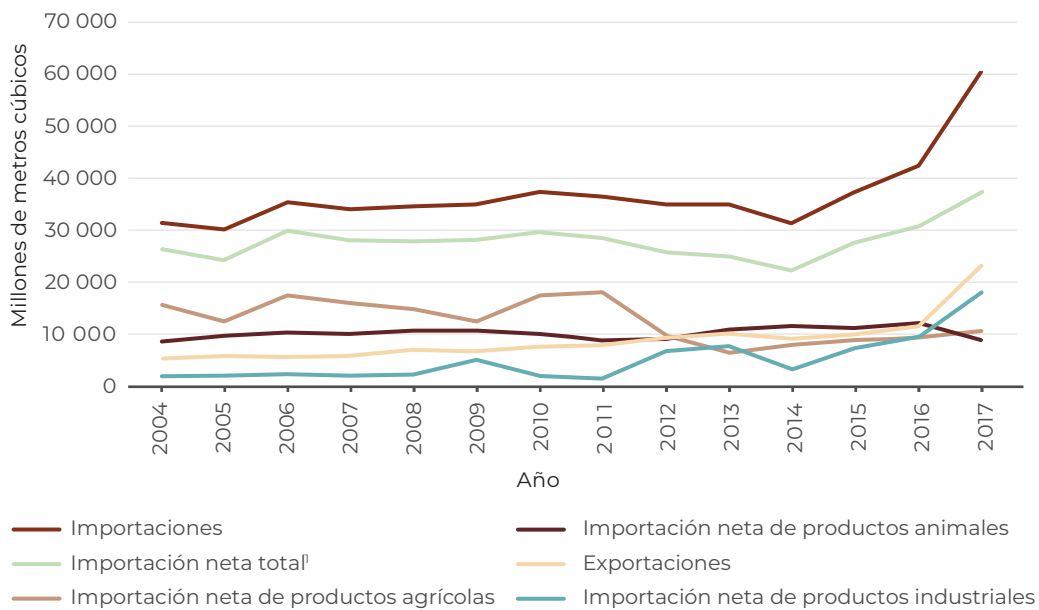
¹² No se incluye hidroelectricidad. Las hidroeléctricas emplearon un volumen de alrededor de 178 mil millones de metros cúbicos de agua (esto es 68% de lo que se emplea del total de los usos consuntivos y no consuntivos del agua) para generar 213.4 TWh de electricidad (85.1% de la generación total nacional de electricidad (Conagua, 2016b).



Para producir una gran parte de los bienes y servicios que la sociedad demanda se requieren insumos de agua, ya sea directa o indirectamente. El volumen total de agua involucrada en el proceso de producción, embalaje y distribución de bienes y servicios de consumo se denomina “agua virtual”, esto debido a que una proporción del agua requerida no está presente en el producto final. La cantidad de agua virtual que contiene un producto depende de varios factores, tanto ambientales como específicos de sus métodos de producción; por ejemplo, para producir un kilogramo de maíz se requieren en promedio, a nivel mundial, alrededor de 1 222 litros de agua, mientras que en México se necesitan 1 860 litros (Conagua, 2017).

El estudio del agua virtual incorporada en los productos de una región o país resulta de utilidad, entre otros aspectos, como indicador de la presión sobre los recursos hídricos disponibles, tanto a nivel nacional como internacional (esto último debido a la importación de productos).

Figura 6.1.a Importaciones y exportaciones de agua virtual en México, 2004 - 2017



Nota:

¹ La importación neta es la diferencia entre importaciones y exportaciones.

Fuentes:

Conagua. Estadísticas del agua en México. Edición 2016. Conagua, Semarnat. México. 2016.
 SINA, Conagua. Agua virtual / Huella hídrica nacional. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=huellaHidrica&ver=reporte&o=1&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

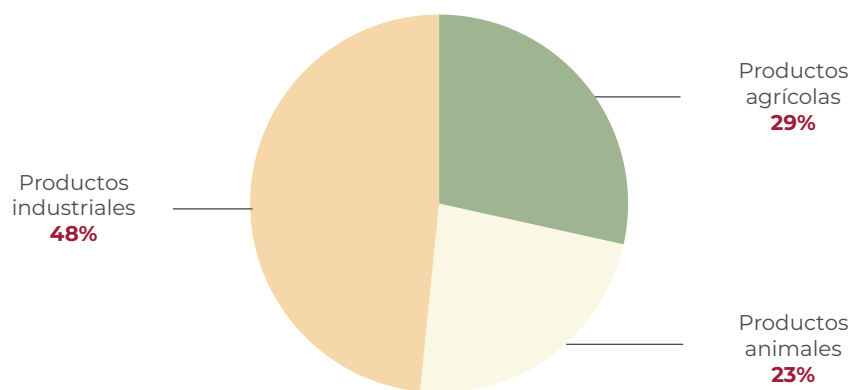


Cuando un país demanda productos con volúmenes de agua virtual por encima del volumen de agua que contiene los productos que exporta, se vuelve un importador neto de agua virtual. En el caso opuesto, los países se constituyen como exportadores netos de agua.

México es un importador neto de agua virtual. En el periodo 2004-2017, la importación de agua se ha mantenido alrededor de los 36 766 millones de metros cúbicos anuales en promedio, mientras que, en el caso de las exportaciones, éstas promediaron 8.892 millones (Figura 6.1.a). En 2017, la importación neta de agua, es decir, la diferencia entre las importaciones y exportaciones de agua ascendió a 37 537 millones de metros cúbicos de agua.

En 2017, el mayor contenido de agua virtual en las importaciones netas provino de los productos animales (48% del total), seguido por la contenida en las importaciones de productos agrícolas (29%) y por los productos industriales (23%; Figura 6.b). Esta tendencia se observa desde 2013, antes de esa fecha la importación neta de agua virtual de los productos agrícolas superaba a la de los productos de origen animal.

Figura 6.1.b Importación de agua virtual en México por tipo de producto, 2017



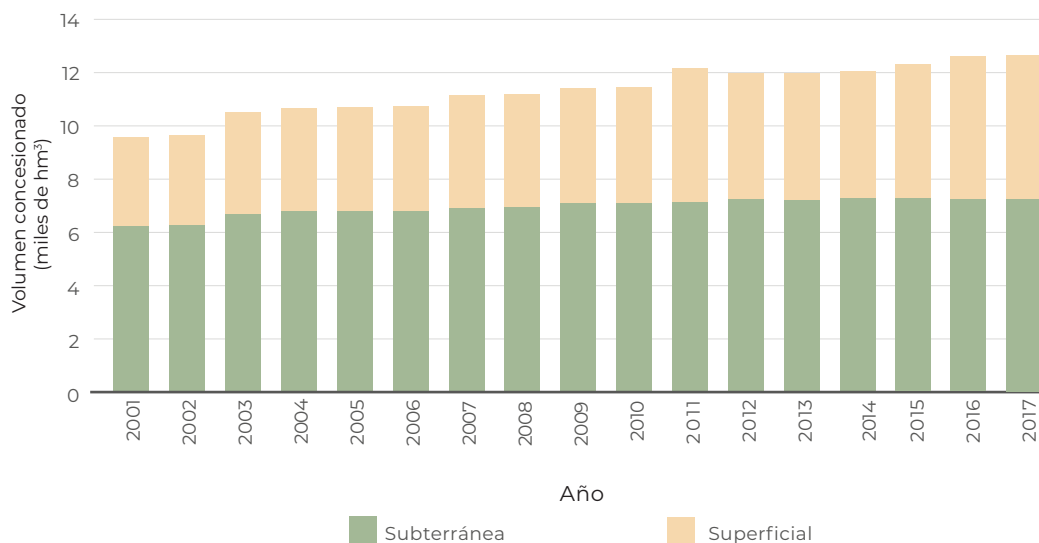
Fuente:

SINA, Conagua. Agua virtual / Huella hídrica nacional. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=huellaHidrica&ver=reporte>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Referencias:

- Conagua. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2017*. Conagua, Semarnat. México. 2017.
- SINA. *Agua virtual/Huella hídrica*. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=huellaHidrica&ver=reporte>. Fecha de consulta: agosto de 2018.
- Hoekstra, A.Y. y M.M. Mekonnen. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(9): 3232-3237. 2011.

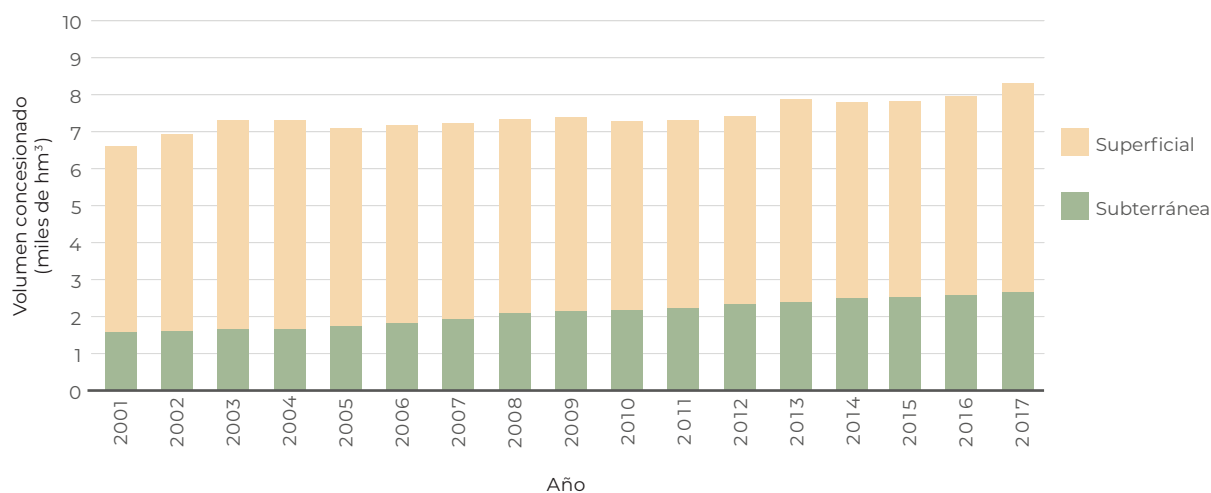
Figura 6.14 Volumen de agua concesionada para el abastecimiento público, 2001 - 2017



Fuentes:

CNA. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002, 2003, 2004. CNA. México, 2002, 2003, 2004.
 Conagua. *Estadísticas del agua en México*. Síntesis 2005. Conagua. México, 2005.
 Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006-2008, 2010-2016. Conagua. México, 2006-2008, 2010-2016.
 SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Volúmenes Inscritos (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.15 Volumen de agua concesionada¹ para la industria autoabastecida,¹ 2001 - 2017



Nota:

¹ Incluye los volúmenes concesionados a energía eléctrica, excluyendo hidroelectricidad.

Fuentes:

CNA. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002-2004. CNA. México, 2002-2004.
 Conagua. *Estadísticas del agua en México*. Síntesis 2005. Conagua. México, 2005.
 Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2006 - 2008, 2010 - 2016. Conagua. México, 2006-2008, 2010-2017.
 SINA, Conagua. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) / Volúmenes Inscritos (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=reporte&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Respecto a la variación del uso del agua en el sector industrial entre regiones hidrológicas, la región IV-Balsas es la única que destina a la industria casi una tercera parte del volumen concesionado (32%), de cerca le sigue la región X-Golfo Centro con el 22%. Por el contrario, las regiones III-Pacífico Norte y la región V-Pacífico Sur destinan solo el 0.6% (Conagua, 2017a).

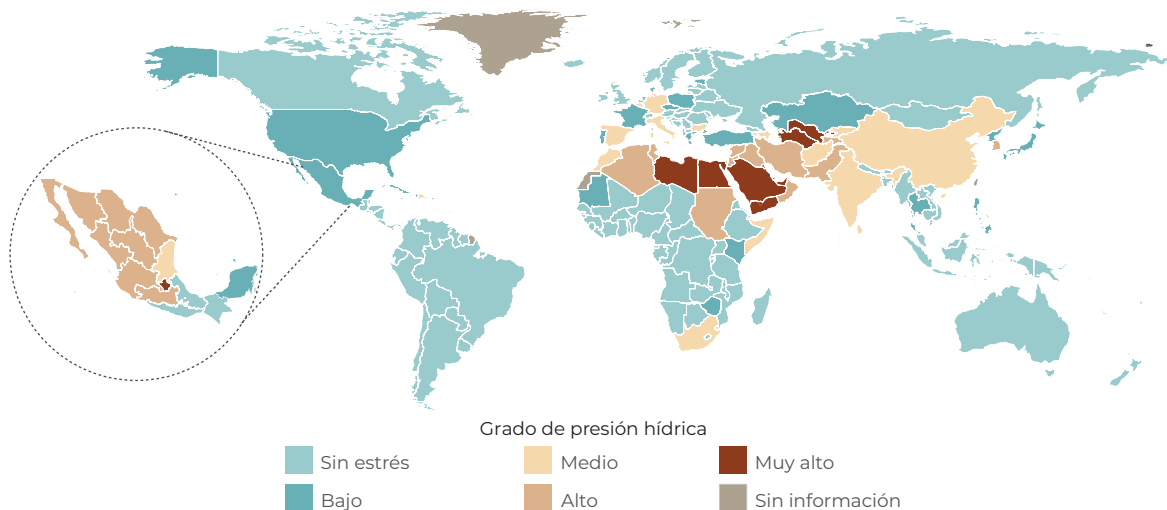
GRADO DE PRESIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El grado de presión del recurso hídrico (GPRH) es un indicador de la sostenibilidad de la extracción de los recursos hídricos. Se expresa en porcentaje dividiendo la extracción del recurso destinada a los diversos usos consuntivos entre el agua renovable. Entre más alto sea el grado de presión, la situación se acerca a condiciones de sobreexplotación del recurso.

Algunos de los casos más altos de grado de presión a nivel global se observan en el Medio Oriente y África: en 2015 Qatar registró un grado de presión de 374%, Libia de 823% y Arabia Saudita de 943%. En contraste, hay países que emplean una porción muy baja de sus recursos hídricos: en África destacan los casos del Congo (0.01%), la República Democrática del Congo (0.05%) y Liberia (0.06%). En América están Belice y Colombia (ambos con 0.5%) y Paraguay (0.62%).

Para México, la Conagua clasifica el grado de presión en cinco categorías.¹³ Para 2017, nuestro país reportó un valor de GPRH de 19.5%, lo que representaba una presión de categoría “baja” según la Conagua (Conagua, 2017b). A nivel mundial, México ocupa el lugar 49 dentro de la lista de los países con mayor grado de presión (Mapa 6.10; Conagua, 2017b).

Mapa 6.10 Grado de presión sobre los recursos hídricos en el mundo, 2016



Fuente:

SINA, Conagua. Grado de presión (mundial). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=gradoPresion&n=mundial>. Fecha de consulta: julio de 2018.

¹³ Los rangos utilizados por la Conagua (Conagua, 2016b) en las categorías de grado de presión del recurso hídrico son: sin estrés (menor al 10%), bajo (entre 10 y 20%), medio (entre 20 y 40%), alto (entre 40 y 100%) y muy alto (mayor a 100%).

El GPRH nacional relativamente bajo no describe adecuadamente la presión sobre el recurso en todo el territorio, el cual muestra marcados contrastes. Este valor está significativamente influido por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, de donde se extrae menos del 8% del agua disponible (Conagua, 2017a). En contraste, en 2017 las regiones I-Península de Baja California, II-Noroeste, III-Pacífico Norte, IV-Balsas, VI-Río Bravo, VII-Cuencas Centrales del Norte y VIII-Lerma-Santiago-Pacífico registraron grados de presión altos que oscilaron entre el 40 y el 85%; el caso más extremo es la región XIII-Aguas del Valle de México que tuvo una presión sobre los recursos hídricos de 141.4%, es decir, rebasó en poco más del 41% la disponibilidad de agua existente en ella (un grado de presión clasificado como muy alto; Mapa 6.11).

Mapa 6.11 Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa,^{1,2} 2017



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

² Los números entre paréntesis corresponden al grado de presión hídrica en porcentaje.

Fuente:

SINA, Conagua. Grado de presión (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=gradoPresion&ver=mapa&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

INTENSIDAD DE USO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

La sostenibilidad del uso de los recursos hídricos superficiales puede medirse a través de la intensidad de uso, que se calcula como el cociente de la extracción de agua superficial respecto del escurrimiento natural medio total. Entre 2001 y 2017, en México, la intensidad de uso del agua superficial aumentó poco más del

21%, pasando de poco más de 11 a casi el 15%. En 2017, la región XIII-Aguas del Valle de México constituyó un caso excepcional, ya que el uso consuntivo sobrepasó en más del doble al escurrimiento natural medio (Mapa 6.12). En las regiones VII-Cuencas Centrales del Norte, II-Noroeste y I-Península de Baja California, el grado de intensidad alcanzó, respectivamente, el 80.5, 77.6 y 60.7%; en contraste, en las regiones XI Frontera Sur, V Pacífico Sur y X Golfo Centro, la intensidad fue de entre 1.4 y 5%.

Mapa 6.12 Intensidad de uso del agua superficial por región hidrológico-administrativa,^{1,2} 2017



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

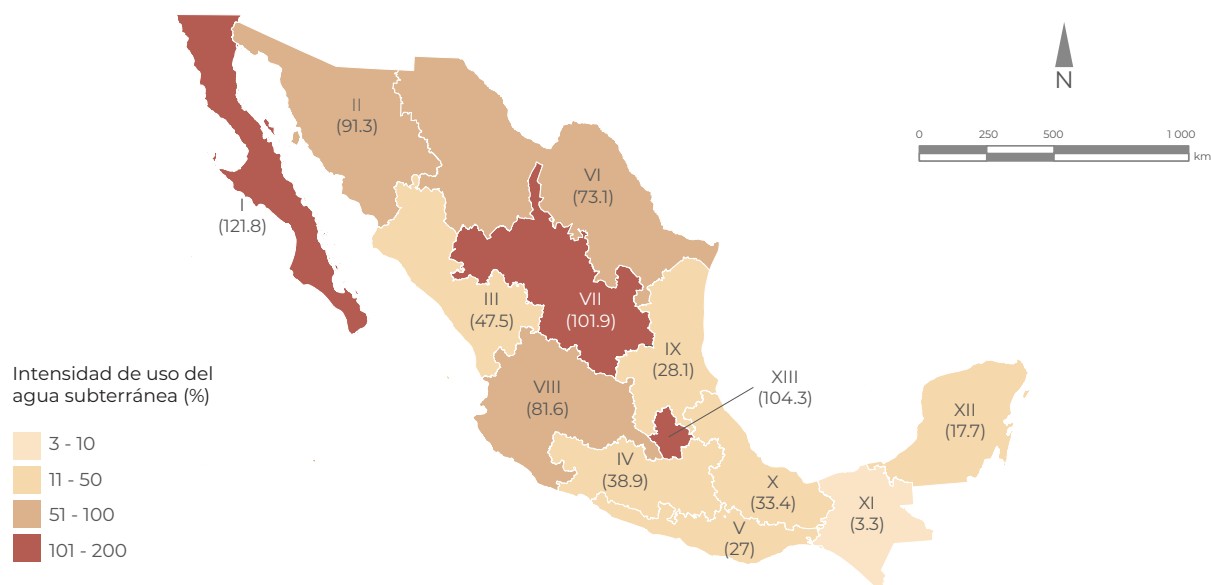
² Los números entre paréntesis corresponden a la intensidad de uso de agua en porcentaje.

Fuente:

SINA, Conagua. Agua renovable (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=mapa&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

En el caso de las aguas subterráneas, la presión se mide a través de la llamada intensidad de uso de agua subterránea, y se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea entre o con respecto a la recarga media de los acuíferos. Entre 2001 y 2017, la intensidad de uso del agua subterránea se mantuvo en el país alrededor del 37%. Sin embargo, se observan contrastes regionales. En 2017, en las regiones I-Península de Baja California, VII-Cuencas Centrales del Norte y XIII-Aguas del Valle de México, el agua utilizada excedió la recarga total de acuíferos (con valores de 122, 102 y 104%, respectivamente); en contraste, en la región XI-Frontera Sur el uso fue de apenas 3% y en el resto de las regiones la intensidad de uso varió entre 18 y 91% (Mapa 6.13).

Mapa 6.13 Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa,^{1,2} 2017



Notas:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

² Los números entre paréntesis corresponden a la intensidad de uso de agua en porcentaje.

Fuente:

SINA, Conagua. Agua renovable (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=apa&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

ACUÍFEROS SOBREEXPLOTADOS Y EN OTRAS CONDICIONES

En el año 2018 se contabilizaban 115 acuíferos sobreexplotados, lo cual equivale a cerca del 18% de los 653 acuíferos registrados. La distribución de los acuíferos sobreexplotados no es homogénea: 103 de los 115 sobreexplotados se localizan en 5 de las 13 regiones hidrológico-administrativas. Los acuíferos sobreexplotados se concentran principalmente en las RHA III-Lerma-Santiago-Pacífico, VII-Cuencas Centrales del Norte, VI-Río Bravo, I-Península de Baja California y II-Noroeste (Tabla 6.3); de ellos se extrae 58.5% del agua subterránea para todos los usos consuntivos del país (Conagua, 2017a y 2017b).

Algunos de los acuíferos sobreexplotados presentan también problemas de salinización por intrusión marina o aguas subterráneas salobres. En extensas zonas de riego, sobre todo en las áreas costeras, la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado un descenso de varios metros en los niveles de agua subterránea y con ello favorecido la intrusión del agua marina, con el consecuente deterioro de la calidad del agua. En 2018, 18 acuíferos presentaron problemas de intrusión salina, en las regiones I-Península de Baja California, II-Noroeste y XII-Península de Yucatán. Las regiones I-Península de Baja California, VI-Río Bravo, VII-Cuencas Centrales del Norte y XII-Península de Yucatán tienen, en conjunto, 32 acuíferos con problemas de salinización y aguas subterráneas salobres (Tabla 6.3; Mapa 6.14).

Tabla 6.3 Condición de los acuíferos¹ por región hidrológico-administrativa, 2018

Región hidrológico-administrativa	Sobreexplotado	Intrusión marina	Salinización de suelos y aguas subterráneas	Sin problemas	Total de acuíferos
I Península de Baja California	18	11	5	54	88
II Noroeste	10	5	0	47	62
III Pacífico Norte	5	0	0	19	24
IV Balsas	1	0	0	44	45
V Pacífico Sur	0	0	0	36	36
VI Río Bravo	20	0	8	74	102
VII Cuencas Centrales del Norte	24	0	18	23	65
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	31	0	0	97	128
IX Golfo Norte	2	0	0	38	40
X Golfo Centro	0	0	0	22	22
XI Frontera Sur	0	0	0	23	23
XII Península de Yucatán	0	2	1	1	4
XIII Aguas del Valle de México	4	0	0	10	14
Total nacional	115	18	32	488	653

Nota:

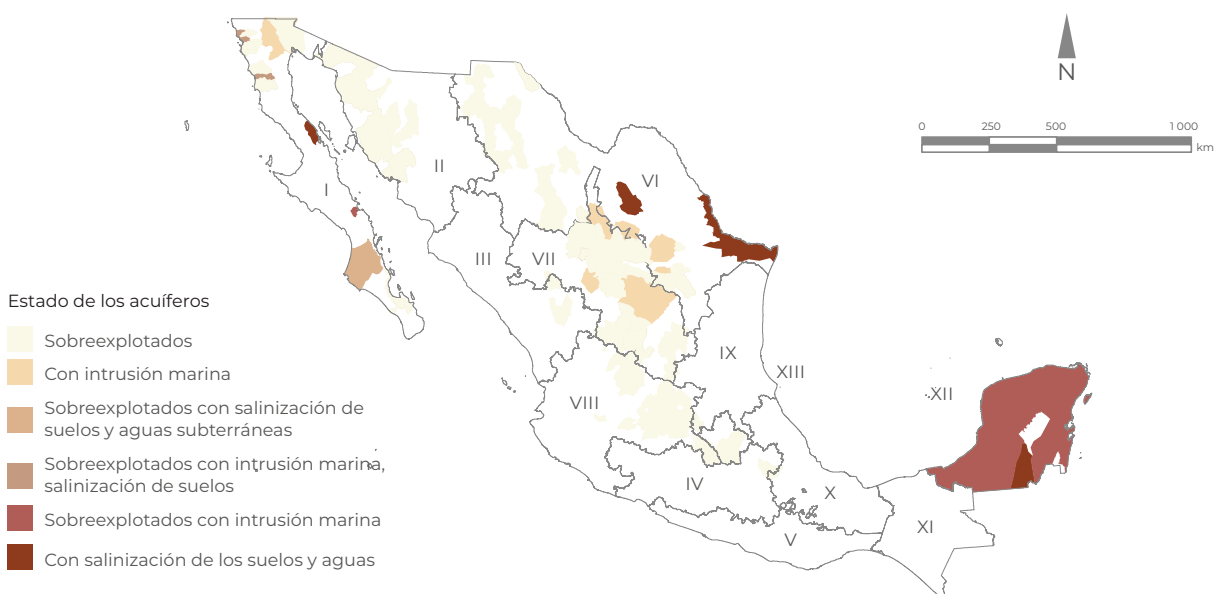
¹ De acuerdo con la Conagua, para fines de la administración del agua subterránea, el país está dividido en 653 acuíferos.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017.

SINA, Conagua. Acuíferos (nacional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuíferos&ver=reporte>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.14 Condición de los acuíferos en México,¹ 2017



Nota:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Fuente:

SINA, Conagua. Agua renovable (regional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaRenovable&ver=mapa&o=0&n=regional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

CALIDAD DEL AGUA

La disponibilidad del agua, tratada en la sección anterior, es solo una de las aristas más importantes de la problemática del agua tanto en México como en el mundo. La calidad del líquido, es decir, agua libre de contaminantes que pueda consumirse sin riesgos para la salud y además ser útil para las actividades económicas, es el otro tema de gran relevancia. Tener agua de calidad no solo significa contar con ella para los distintos usos consuntivos, sino también mantenerla libre de contaminantes en los cuerpos de agua del país de tal manera que permita la continuidad de los procesos biológicos de los ecosistemas y la preservación de su biodiversidad.

Prácticamente todas las actividades humanas que consumen agua, incluidas las actividades agropecuarias, industriales y las que se realizan en el ámbito urbano, producen como desecho “aguas residuales”. Éstas se caracterizan por tener disueltas o en suspensión sustancias químicas, partículas o microorganismos que deterioran la calidad del agua de los ríos, lagos, presas o zonas costeras en donde se descargan, sobre todo si no se tratan adecuadamente para remover las sustancias o elementos potencialmente perjudiciales.

La contaminación de los cuerpos de agua no solo afecta a los seres humanos: los organismos de muchas especies de microorganismos, plantas y animales pueden ser sensibles a los contaminantes, los cuales pueden afectar su crecimiento, reproducción y supervivencia. En algunos casos, la contaminación puede conducir a la pérdida de especies, lo que al final ocasiona graves daños en los ecosistemas y en las comunidades que dependen de ellos.

Las aguas superficiales no son las únicas afectadas por la contaminación de agua. Los acuíferos también se contaminan, tanto por las fugas de aguas residuales domésticas e industriales que existen en los sistemas de drenaje como por el mal manejo y los accidentes que ocurren en las instalaciones industriales y que permiten su fuga e infiltración en el suelo. A ellas debemos añadir las aguas contaminadas con fertilizantes y plaguicidas que se infiltran al subsuelo directamente desde los campos agrícolas.

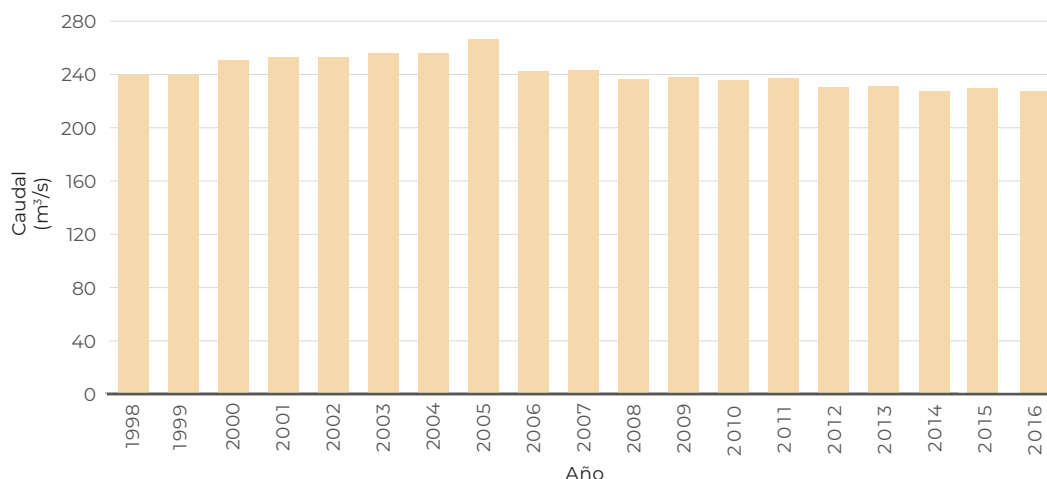
La calidad del agua es una medida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido (Peters *et al.*, 2009) que resulta fundamental conocer para poder aprovechar adecuadamente y de forma segura el líquido. Para medirla se definen estándares específicos en función de los usos que pretende dársele (por ejemplo, agua potable, para el uso agrícola o industrial; UNDP *et al.*, 2000). Algunos de éstos utilizan parámetros que pueden medirse fácilmente, como la temperatura, conductividad, turbidez, pH y oxígeno disuelto. Otras medidas se enfocan en los nutrientes, sólidos disueltos totales, metales pesados, patógenos y compuestos orgánicos.

DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias contienen elementos y sustancias químicas disueltas, así como sólidos suspendidos, en concentración variable, que cuando son vertidas sin tratamiento causan la contaminación de los cuerpos de agua superficiales. Se estima que a nivel mundial entre 80 y 95% del agua residual se descarga directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir tratamiento previo (Conagua, 2017c).

Las aguas residuales de origen municipal provienen de las viviendas, edificios públicos y de la escorrentía que se colecta en el drenaje. Sus principales contaminantes son el nitrógeno, fósforo, compuestos orgánicos, bacterias coliformes fecales y materia orgánica, entre otros (Jiménez-Cisneros *et al.*, 2010). A nivel nacional, entre los años 2000 y 2005 el volumen de descargas generado de aguas residuales municipales aumentó poco más del 6% (pasando de 250 a 265.6 m³/s); tendencia que se revirtió a partir de 2006 (Conagua, 2017c; Figura 6.16; IB 2.2-1). Para 2016, el volumen de aguas residuales provenientes de las descargas municipales fue de aproximadamente 7.2 miles de hectómetros cúbicos al año, equivalente a 228.9 metros cúbicos por segundo, de las cuales se colectaron en los sistemas de alcantarillado 6.69 miles de hectómetros cúbicos al año (212 m³/s; 92.6% del generado) y se trataron 3.9 miles de hectómetros cúbicos en el mismo periodo (123.6 m³/s; 58.3% del colectado; Conagua, 2017b y 2017c).

Figura 6.16 Descargas de aguas residuales municipales a nivel nacional, 1998 - 2016



Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2010-2016. Conagua, Semarnat. México. 2010-2017.

Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1998-2017. Conagua, Semarnat. México. 1998-2017.

SINA, Conagua. *Descarga de aguas residuales (nacional)*. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=descargasResiduales&ver=reporte&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

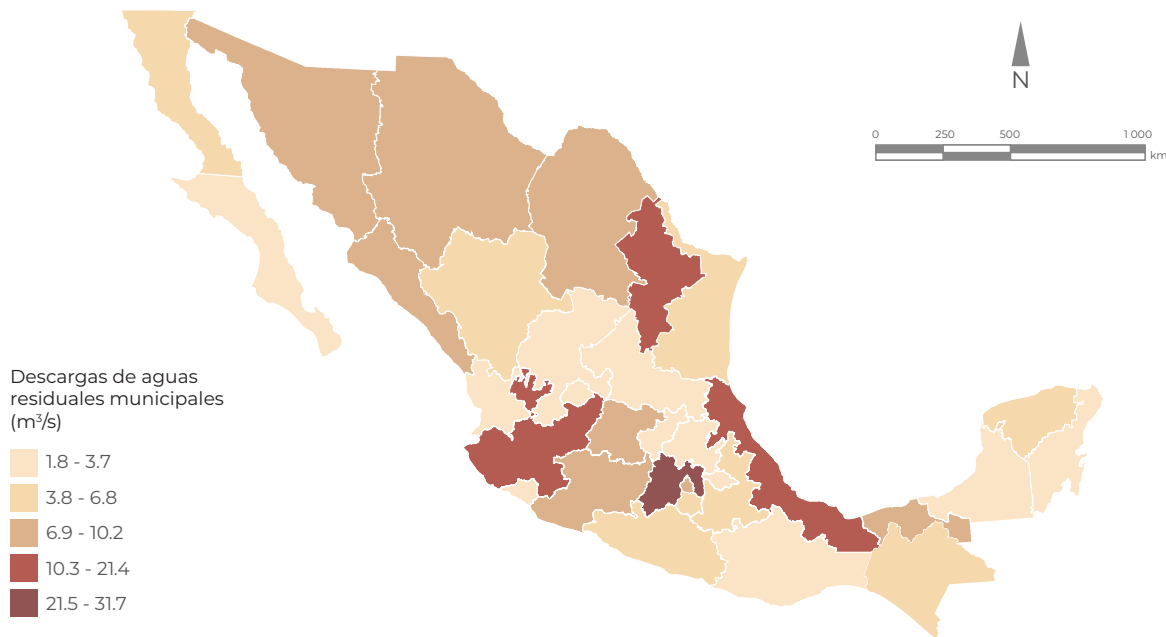
En 2016, las entidades que generaron los mayores caudales de aguas residuales municipales fueron el estado de México (31.7 m³/s), la Ciudad de México (21.4 m³/s), Jalisco (14.3 m³/s), Veracruz (13.4 m³/s), Nuevo León (12.6 m³/s) y Sonora (10.2 m³/s; Conagua, 2016c; Conagua, 2017c), que en conjunto aportaron alrededor del 45% del volumen nacional generado para ese año (Mapa 6.15).

En general existe una relación entre la generación de aguas residuales y el producto interno bruto: las entidades que contribuyen con el mayor porcentaje al PIB nacional también son las que generan mayores descargas de aguas residuales, como en los casos de la Ciudad de México y el estado de México; en contraste, estados como Colima, Nayarit, Tlaxcala, Baja California Sur y Oaxaca, con menores aportaciones al PIB nacional (INEGI, 2018a y b) generaron comparativamente menores volúmenes de aguas residuales de origen municipal (Figura 6.17).

Al analizar la generación de aguas residuales por habitante, entre 2014 y 2016¹⁴ cada mexicano generó alrededor de 60 metros cúbicos al año. Si se analiza este consumo por entidad federativa, las que en 2013¹⁵ presentaron valores per cápita superiores a los 100 m³/hab/año fueron Colima, Sonora, Morelos y Durango, mientras que los habitantes de Hidalgo fueron los que generaron el menor caudal (< 30 m³/hab/año).

Respecto a las aguas residuales industriales,¹⁶ entre 2000 y 2017 la descarga hacia los cuerpos de agua se incrementó 28.4%, pasando de 169.9 a 218.12 metros cúbicos por segundo. En ese último año, las descargas fueron de alrededor de 6.88 miles de hectómetros cúbicos (218.12 m³/s; Figura 6.18; IB 2.2-2).

Mapa 6.15 Descarga de aguas residuales de origen municipal por entidad federativa,¹ 2016



Nota:

¹ La estimación del caudal generado por entidad federativa fue con base a la cantidad de caudal tratado de aguas residuales municipales y cobertura del servicio de alcantarillado por entidad.

Fuente:

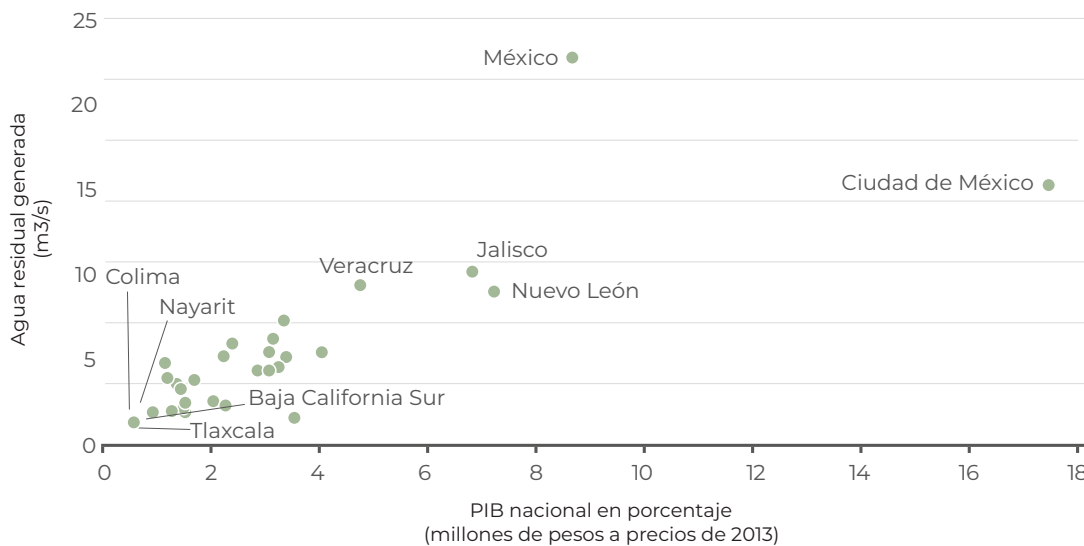
Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017.

¹⁴ Se tomó como referencia la estimación de la población residente en viviendas particulares habitadas (119 530 753 millones) de la Encuesta Intercensal 2015 (INEGI, 2015).

¹⁵ Conagua no presenta información desagregada para el año 2016.

¹⁶ Incluye aguas provenientes de descargas de usos industrial, comercial, pecuario, agrícola.

Figura 6.17 PIB estatal y generación de aguas residuales de origen municipal,¹ 2016



Nota:

¹ Datos preliminares para el año 2016 según el Sistema de Cuentas Nacionales de México, INEGI.

Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2017. Conagua. México. 2017.
 Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*. Edición 2017. Conagua. México. 2017.
 INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales. Producto interno bruto por entidad federativa. Disponible en: www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx. Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.18 Descargas de aguas residuales no municipales, incluyendo la industria, 2000 - 2017



Fuentes:

Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1998-2017. Conagua. México. 1998-2017.
 Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2010. Conagua. México. 2010.
 Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2014-2016. Conagua. México. 2014, 2015 y 2016.
 SINA, Conagua. Descarga de aguas residuales. Conagua. Disponible en: http://sina.conagua.gob.mx/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=descargas-Residuales. Fecha de consulta: agosto de 2018.

El número de plantas de tratamiento también se ha incrementado año con año. Mientras que en 1992 solo había 394 plantas municipales en operación, en 2016 operaban 2 536 plantas municipales y 3 041 plantas industriales (Conagua, 1998; Conagua, 2017c).

RED DE MONITOREO E INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL: DBO₅, DQO Y SST

La Red Nacional de Monitoreo (RNM) de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) mide la calidad de los recursos hídricos en diversos cuerpos de agua superficiales y subterráneos en el país, con énfasis en zonas con alta influencia antropogénica. En 2017 la Red contaba con 5 028 sitios distribuidos en el país como se muestra en la Tabla 6.4 (cuadro D3_AGUA_RNM).

Tabla 6.4 Sitios de la red nacional de monitoreo,¹ 2017

Red	Área	Número de sitios de monitoreo
Superficial	Cuerpos de agua superficiales	2 685
Subterránea	Cuerpos de agua subterráneos	1 096
Estudios Especiales	Cuerpos de agua subterráneos	14
	Cuerpos de agua superficiales	88
Costeros	Zonas costeras	856
Descargas	Superficiales	281
	Subterráneas	8
Total		5 028

Nota:

¹ De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (Art. 3. Fracc. XXII) "Descarga" es la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor.

Fuente:

SINA, Conagua. Sitios de la red nacional de monitoreo. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=reporte&o=5&n=nacional>. Fecha de consulta: marzo de 2018.

Los indicadores que la Conagua utiliza para reportar la calidad del agua son la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST; Conagua, 2017a y b).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ es una de las medidas más utilizadas para determinar el grado de contaminación del agua por materia orgánica biodegradable,¹⁷ tanto por aguas residuales domésticas como industriales. La descarga de grandes cantidades de

¹⁷ En esta prueba se mide la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias aerobias cuando consumen la materia orgánica biodegradable presente en el agua que se analiza. Se inocula con bacterias aerobias la muestra de agua a analizar y después de cinco días se mide la concentración de oxígeno residual. La cantidad de oxígeno consumido se determina midiendo el oxígeno disuelto al inicio y al término de la prueba (DOF, 2001).

materia orgánica a los cuerpos de agua naturales ocasiona que las bacterias y otros microorganismos presentes dispongan de los nutrientes que aceleran su reproducción. La abundancia de microorganismos consume el oxígeno disuelto en el agua, lo que puede ocasionar que bajen sus niveles hasta umbrales en los que peces y otros organismos acuáticos mueren por asfixia, una condición conocida como hipoxia (Conagua, 2017b).

Entre 2012 y 2017, el porcentaje de sitios con excelente calidad del agua de acuerdo con este parámetro creció 31.7%; paralelamente también aumentaron los sitios clasificados como contaminados y fuertemente contaminados (que en conjunto lo hicieron en 32%). En 2017, el 53.6% de los sitios de monitoreo reportó valores inferiores a los 3 miligramos por litro (límite máximo permitido para una calidad excelente), un aumento importante si se compara con el valor reportado para el año 2012 donde el 40.7% de los sitios monitoreados fueron clasificados con calidad del agua excelente (Mapa 6.16). En el otro extremo, a nivel nacional, cerca de 10.5% de los sitios registró en 2017 valores mayores a 30 miligramos por litro de DBO₅ (categoría contaminada y fuertemente contaminada), valor que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos. Los sitios con altos valores de DBO₅ (mayores a 30 mg/L y que se consideran contaminados y fuertemente contaminados) se concentraron en las zonas más pobladas de las regiones XIII Aguas del Valle de México, IV Balsas y I Península de Baja California (de 42.3, 21.8 y 9.3% de sus sitios, respectivamente; Mapa 6.16; Figura 6.19; IB 2.2-8 e IC 12).

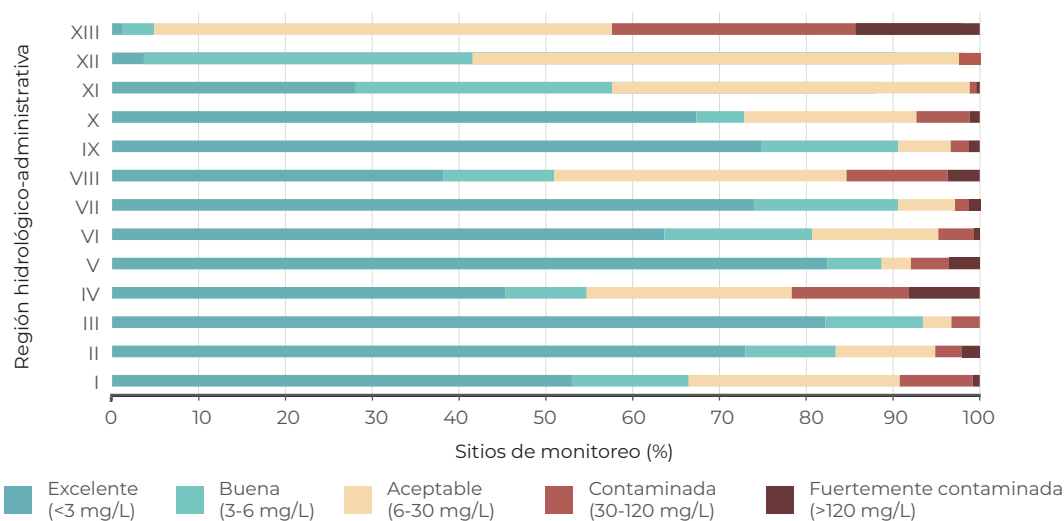
Mapa 6.16 Distribución de sitios de monitoreo de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en cuerpos de agua superficiales,¹ 2017



Nota:
¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Fuente:
 SINA, Conagua. Calidad del agua (nacional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa&o=1&n=nacional>.
 Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.19 Distribución porcentual de sitios de monitoreo de la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) en cuerpos de agua superficiales, por región hidrológico-administrativa,¹ 2017



Nota:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

Conagua. Estadísticas del Agua en México. Edición 2016. Conagua. México. 2016.
SINA, Conagua. Calidad del agua (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=reporte&O&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

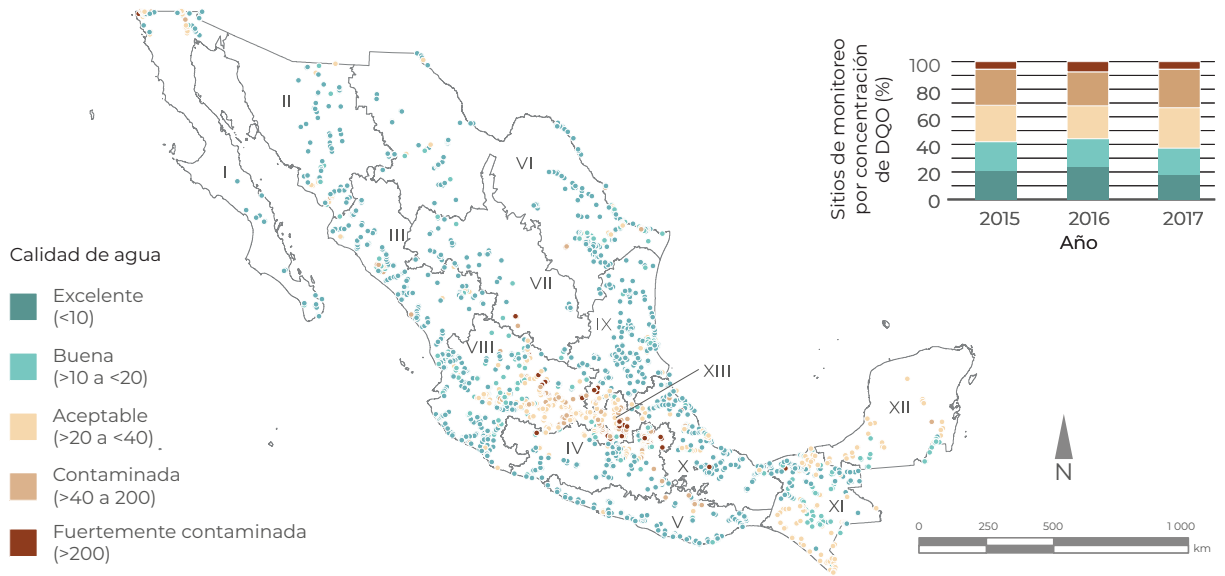
Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es un indicador que mide la cantidad de materia orgánica que es susceptible de ser oxidada por medios químicos¹⁸ (DOF, 2013). Los valores superiores a 40 miligramos por litro sugieren la presencia de descargas de aguas residuales sin tratamiento (Conagua, 2017b). El aumento de la concentración de materia orgánica puede significar una reducción en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, lo que afecta considerablemente a los organismos y los ecosistemas acuáticos.

En el periodo 2012-2107, el porcentaje de sitios con excelente calidad respecto a la demanda bioquímica disminuyó de 32.1 a 18.5%; mientras que en el otro extremo los contaminados pasaron de 5.5 a 6% (Mapa 6.17; Figura 6.20). En 2017, el 33.5% de los sitios superó el límite máximo permitido (40 mg/L). En las regiones VIII-Lerma-Santiago-Pacífico y XIII-Aguas del Valle de México se obtuvieron entre el 50 y el 76.1% de los sitios de monitoreo con concentraciones promedio anuales superiores a los 40 miligramos por litro (Mapa 6.17).

¹⁸ Es aplicable a muestras de aguas naturales crudas no salinas, tanto epicontinentales, como subterráneas y pluviales, aguas residuales crudas municipales e industriales y aguas residuales tratadas municipales e industriales y es de aplicación nacional (DOF, 2013).

Mapa 6.17 Distribución de sitios de monitoreo de calidad del agua para la demanda química de oxígeno (DQO) en cuerpos de agua superficiales,¹ 2017



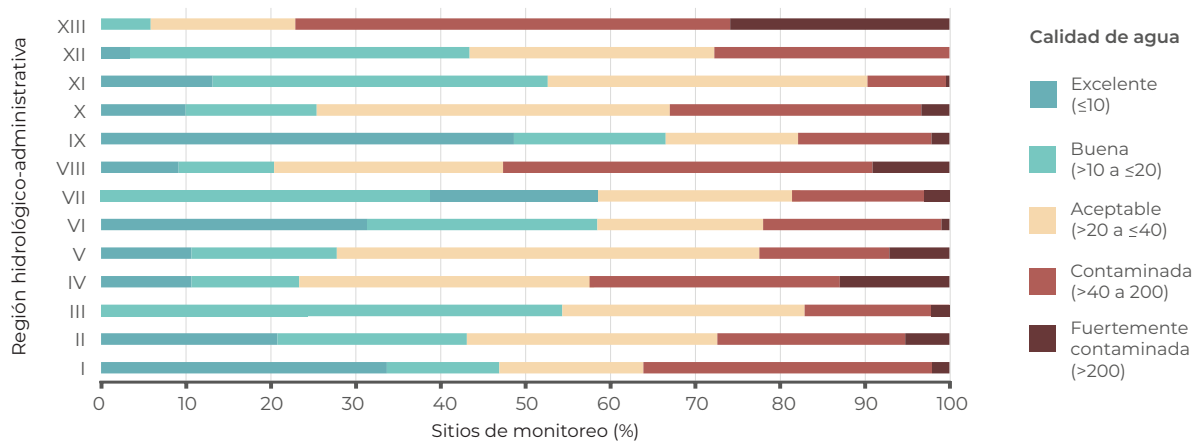
Nota:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Fuente:

SINA, Conagua. Calidad del agua (nacional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa&o=1&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.20 Distribución porcentual de sitios de monitoreo de la demanda química de oxígeno (DQO) en cuerpos de agua superficiales, por región hidrológico-administrativa,¹ 2017



Nota:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

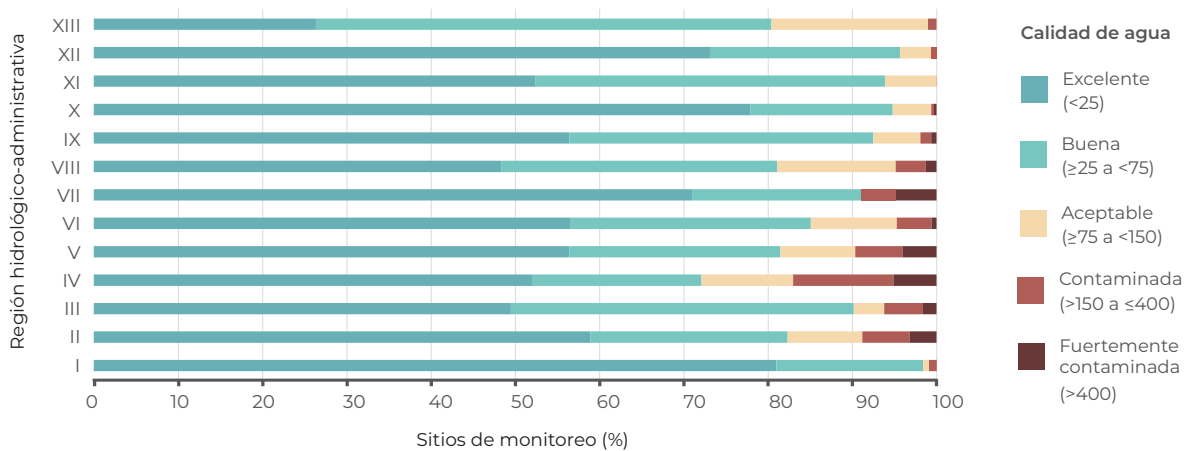
Conagua. Estadísticas del Agua en México. Edición 2016. Conagua. México. 2017.
SINA, Conagua. Calidad del agua (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=reporte&o=1&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos en suspensión son materiales o partículas muy finas presentes en el agua en forma de coloides que causan su turbidez;¹⁹ el aumento en su cantidad disminuye la penetración de la luz solar e impide el desarrollo de la vegetación acuática natural, ocasionando daños a la biodiversidad y limitando los posibles usos del agua. La turbidez aumenta con el crecimiento excesivo de algas, con la actividad de algunos organismos y, en el caso de ríos, con los cambios en el flujo. Sin embargo, el incremento de sólidos suspendidos también puede originarse por la descarga de aguas residuales y por las partículas que provienen de la erosión del suelo en las cuencas de captación de los cuerpos de agua (Gómez-Sandoval *et al.*, 2013).

El porcentaje de sitios con excelente calidad, durante el periodo de 2012 y 2017 fluctuó entre 43.3 y 58.1% (Mapa 6.18). En 2017, el 5.2% de los sitios de monitoreo se consideraron contaminados y fuertemente contaminados (sobrepasaron el límite de 150 mg/L). Las regiones hidrológico-administrativas con el mayor porcentaje de sitios con contaminación de las aguas superficiales por SST (con concentraciones mayores a 150 mg/L) fueron V-Pacífico Sur (9.8%) y IV-Balsas (con 17.1%). En contraste, las regiones con el mayor porcentaje de sitios en aguas superficiales con excelente calidad fueron I-Península de Baja California (81.1%), X-Golfo Centro (78.4%), XII-Península de Yucatán (73.3%) y VII-Cuencas Centrales del Norte (70.9%; Figura 6.21 y Mapa 6.18).

Figura 6.21 Distribución porcentual de sitios de monitoreo de sólidos suspendidos totales (SST) en cuerpos de agua superficiales, por región hidrológico-administrativa,¹ 2017



Nota:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2016. Conagua. México. 2017.
 SINA, Conagua. Calidad del agua (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=reporte&o=2&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

¹⁹ A diferencia de los sólidos disueltos, los sólidos suspendidos pueden separarse por procesos mecánicos como la sedimentación y la filtración. Los sólidos suspendidos se componen de material orgánico (compuesto principalmente por algas y microorganismos), e inorgánico (arcillas, silicatos y feldspatos, entre otros; DOF, 2015).

Mapa 6.18 Distribución de sitios de monitoreo de sólidos suspendidos totales (SST) en cuerpos de agua superficiales,¹ 2017



Nota:

¹ Región hidrológico-administrativa (RHA): I Península de Baja California, II Noroeste, III Pacífico Norte, IV Balsas, V Pacífico Sur, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico, IX Golfo Norte, X Golfo Centro, XI Frontera Sur, XII Península de Yucatán, XIII Aguas del Valle de México.

Fuentes:

SINA, Conagua. Calidad del agua (nacional). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=reporte&o=1&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Calidad bacteriológica del agua de mar en playas

El agua marina en las zonas costeras también puede sufrir de contaminación tanto por las descargas de aguas residuales que se vierten los ríos y arroyos y que desembocan en ellas como por las descargas de las poblaciones de las zonas costeras que se vierten sin tratamiento. La contaminación del agua marina puede tener efectos en los ecosistemas costeros y en la salud humana. En el caso de los sistemas costeros, el exceso de nutrientes en el agua y la presencia de sustancias químicas tóxicas pueden producir desde fenómenos ocasionales, como la proliferación masiva de algas (las llamadas “mareas rojas”), hasta la pérdida de la biodiversidad. Estos efectos no solo tienen impactos en el ambiente, también pueden alcanzar a la economía local y, por tanto, dañar el bienestar de las comunidades que dependen de los recursos costeros para su subsistencia. En el caso de sus efectos sobre la salud humana, los daños más comunes se producen al nadar en aguas contaminadas, provocando enfermedades gastrointestinales, la irritación en la piel e infecciones en ojos y oídos (Conagua, 2016b; Conagua, 2017b; DOF, 2013; Laureano-Nieves, 2005).

Los estándares de calidad del agua están establecidos y regulados por normas oficiales.²⁰ Entre los diversos parámetros utilizados para medir la calidad del agua para uso recreativo²¹ está la cuantificación de microorganismos patógenos asociados a los aportes de aguas residuales y que representan riesgos para la salud por causar enfermedades infecciosas (Larrea-Murrell *et al.*, 2013; James, 1979 en Wong y Barrera, 1996). Entre las pruebas más utilizadas está la medición de coliformes fecales (su presencia es evidencia de contaminación fecal; Conagua, 2017b) y los enterococos,²² que se emplean principalmente en el análisis de aguas marinas o salobres (Cofepris, 2018; Larrea-Murrell *et al.*, 2013).

Para vigilar la calidad bacteriológica del agua de mar en los destinos turísticos de playa del país, en 2003 inició el Programa Integral de Playas Limpias y el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas. En él participan las Secretarías de Marina, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Salud y Turismo. El programa monitorea la calidad del agua de mar de acuerdo con los criterios descritos por la Organización Mundial de la Salud para fines recreativos en destinos de los 17 estados costeros. De acuerdo con sus criterios de calificación, las muestras con un contenido superior a los 200 enterococos en 100 mililitros no son recomendables para uso recreativo.

En 2003 se monitoreaban 226 playas en 35 destinos turísticos de las costas del país, aumentando a 267 playas en 2018 en 65 destinos turísticos, con un total de 361 sitios de muestreo. En general, desde que inició el programa, la mayoría de las entidades han registrado buena calidad del agua marina en las playas monitoreadas. En 2003, el 93.7% del total de las playas cumplían con los criterios de calidad del agua; al cierre del primer semestre de 2018 esta cifra ascendió a 98.9% (Mapa 6.19). Los resultados del programa pueden consultarse en la página <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-de-playas-limpias>.

SERVICIOS BÁSICOS RELACIONADOS CON EL AGUA

Agua potable

Tener acceso al agua potable es un derecho fundamental e imprescindible para alcanzar el bienestar de la población. El consumo de agua contaminada trae consigo la presencia de distintos padecimientos y enfermedades, entre ellas infecciones gastrointestinales como el cólera y tifoidea (Conagua 2015b y Conagua 2016b), causantes de morbilidad y muerte en los países en desarrollo.²³ En general,

²⁰ Las Normas Oficiales Mexicanas 001-Semarnat-1996 (DOF, 1997), 002-Semarnat-1996 (DOF, 1998a) y 003-Semarnat-1997 (DOF, 1998b) se aplican a las aguas en general.

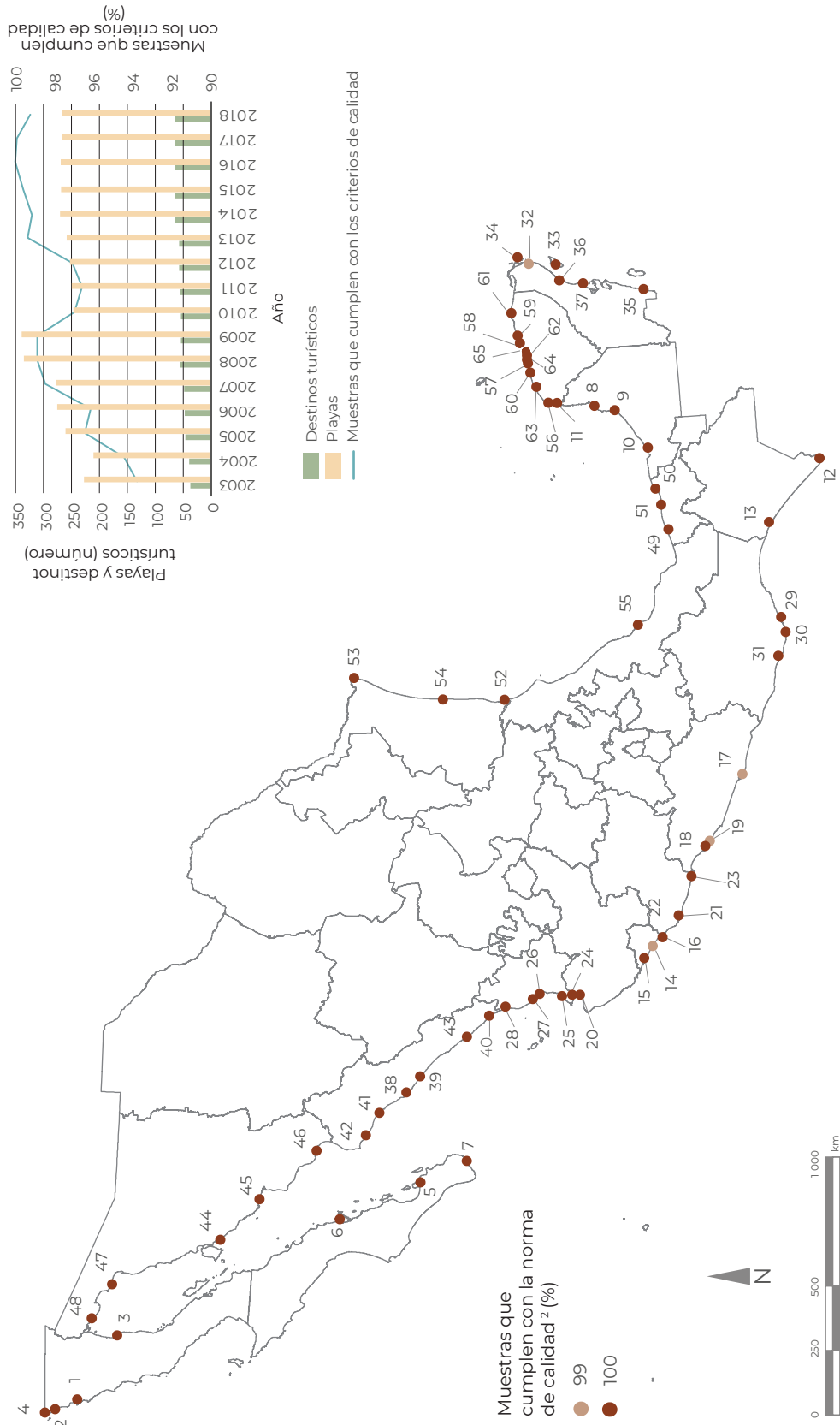
²¹ EL De acuerdo con la OMS (OMS, 2018), las aguas de uso recreativo se clasifican en: a) aguas de contacto directo, en el que la persona se mantiene sumergida y existe riesgo de ingestión y, b) aguas de contacto indirecto, en las cuales solo se tiene contacto accidental con el agua.

²² El límite máximo permitido, de acuerdo con Cofepris (Cofepris, 2018), para considerar una playa apta para uso recreativo es de 200 enterococos (NMP/100 ml).

²³ Para mayores detalles respecto a la incidencia de enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua, ver el capítulo *Población y medio ambiente* de este informe.

Mapa 6.19

Calidad bacteriológica de las playas en los destinos turísticos de México,^{1,2} 2018



Mapa 6.19 Continuación...

Destinos turísticos

	1 Ensenada	Michoacán	23 Lázaro Cárdenas		45 Guaymas
Baja California	2 Rosarito	—	24 Bahía Banderas	Sonora	46 Huatabampo
—	3 San Felipe		25 Compostela	—	47 Puerto Peñasco
—	4 Tijuana	Nayarit	26 San Blas	—	48 San Luis Río Colorado
Baja California Sur	5 La Paz	—	27 Santiago Ixcuintla	Tabasco	49 Cárdenas
—	6 Loreto		28 Tecuala	—	50 Centla
—	7 Los Cabos		29 Huatulco	—	51 Paraíso
—	8 Campeche	Oaxaca	30 Puerto Ángel	—	52 Cd. Madero
Campeche	9 Champotón	—	31 Puerto Escondido	Tamaulipas	53 Matamoros
—	10 Ciudad del Carmen		32 Cancún	—	54 Soto la Marina
—	11 Kalkiní		33 Cozumel	Veracruz	55 Veracruz
Chiapas	12 Tapachula	Quintana Roo	34 Isla Mujeres	—	56 Celestún
—	13 Tonalá	—	35 Othón P. Blanco	—	57 Dzemul
—	14 Armería		36 Riviera Maya	—	58 Dzidzantún
Colima	15 Manzanillo		37 Tulum	—	59 Dzilam de Bravo
—	16 Tecomán		38 Bahía de Altata	Yucatán	60 Progreso
—	17 Acapulco		Navolato	—	61 Reserva de la Biosfera Ría Lagartos
Guerrero	18 Ixtapa		39 Culiacán	—	62 Sinanché
—	19 Zihuatanejo	Sinaloa	40 Escuinapa	—	63 Sisal
Jalisco	20 Puerto Vallarta/Bahía Banderas	—	41 Guasave	—	64 Telchac
—			42 Los Mochis, Ahome	—	65 Yobain
—	21 Aquila		43 Mazatlán		
Michoacán	22 Coahuayana	Sonora	44 Bahía de Kino		

Notas:

¹ Los datos corresponden al primer semestre de 2018.

² Los sitios turísticos con valor de 99% no alcanzaron el 100% debido a la falta de datos para determinar la calidad del agua de alguna de sus playas, debido a la presencia de eventos meteorológicos adversos en las fechas de muestreos u otras razones no especificadas.

Fuente:

Conagua. Estadísticas del Agua en México. Edición 2016. Conagua, Semarnat. México. 2017.

Conagua. Atlas del Agua en México. Edición 2016. Conagua, Semarnat. México. 2017.

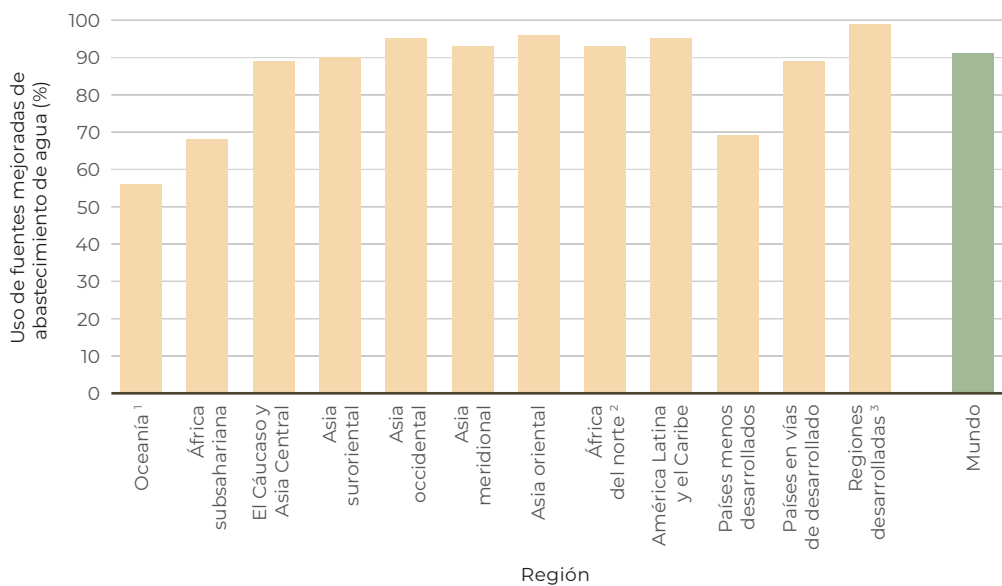
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=playas&ver=mapa&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

los niños y las mujeres en zonas rurales son de los grupos más vulnerables debido a su dependencia de las aguas superficiales no solo para obtener su fuente de líquido, sino también para realizar diversas actividades domésticas como lavar ropa, cocinar y beber, además de ciertas actividades recreativas. En estas zonas la contaminación también afecta a la población con bajos ingresos y la que se alimenta o comercia con productos pesqueros de los ecosistemas de agua dulce.

Una medida básica para evitar problemas de salud en la población es suministrar agua sometida a procesos de desinfección y/o potabilización que garanticen características adecuadas para su uso y consumo. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la meta mundial de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), relativa al agua potable se alcanzó antes de lo previsto. Se tenía proyectado que para 2015 el 88% de la población mundial tuviera acceso a este recurso, sin embargo, aunque esta cifra se alcanzó y supero en 2010 (UNICEF-WHO, 2017), se

estima que todavía hay alrededor de 663 millones de personas que carecen del acceso a agua potable en todo el mundo (Figura 6.22 y Mapa 6.20),²⁴ de los cuales el 4% corresponde a población urbana y 16% a la población que habita zonas rurales; ocho de cada diez personas que carecen de este servicio, viven en áreas rurales. En 2015 solo tres países (Angola, Guinea Ecuatorial y Papúa Nueva Guinea) tenían un porcentaje menor al 50% de su población con acceso a agua potable, en contraste con los 23 países que se encontraban en esta situación en 1990. En términos de la población mundial, en 2015, el 91% de la población mundial contaba con acceso a una fuente de agua potable mejorada, en contraste con el 76% que había en 1990 (UNICEF-WHO, 2017).

Figura 6.22 Cobertura mundial de agua potable, 2015



Notas:

¹ Incluye solamente a las islas que forman parte de los archipiélagos de Melanesia, Polinesia y Micronesia.

² Incluye a países de África septentrional.

³ Incluye a Estados Unidos, Canadá, Unión Europea, Australia, Japón, Corea del Norte, Corea del Sur y Rusia.

Fuente:

OMS-UNICEF. *Progresos en materia de saneamiento y agua potable*. Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM. OMS-UNICEF. Nueva York, 2015.

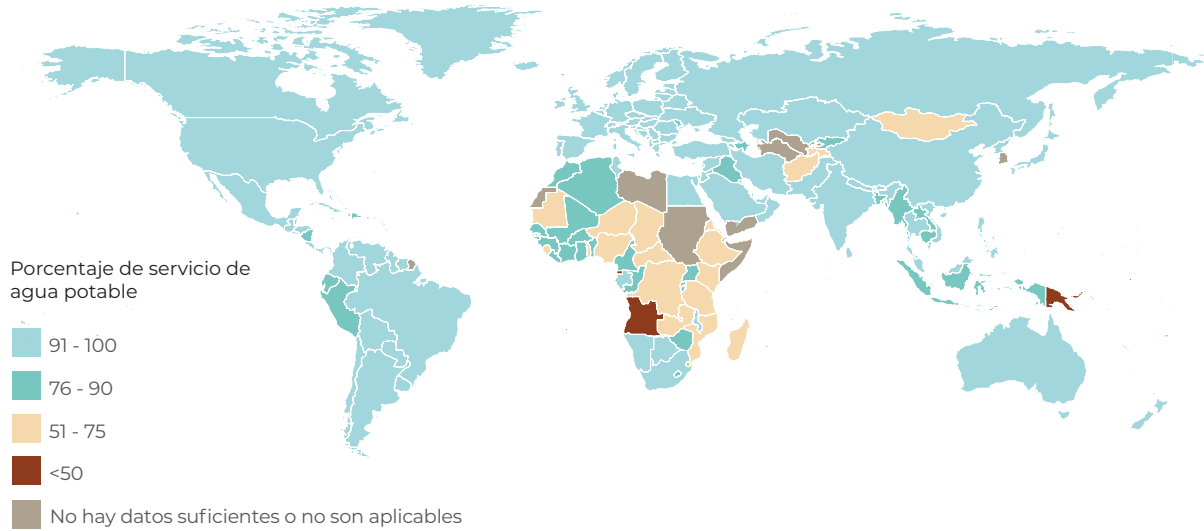
Para el caso de México, en 2015 la cobertura nacional de agua potable²⁵ alcanzó 95.3% de la población (Figura 6.23), valor superior al promedio mundial (80%) y al de América Latina y El Caribe (80%), pero inferior al de países como Estados Unidos, Francia y Canadá, los cuales cubren prácticamente a su población total (OMS, 2018; UNICEF-WHO, 2017; SINA, 2018). Si se analiza a nivel de las viviendas, en el país entre 1990 y 2015 la cobertura de viviendas con agua entubada pasó de 78.4 a 93.5%, lo

²⁴ La regionalización mostrada en la Figura 6.22 y el Mapa 6.20 corresponde a la utilizada en los Objetivos de Desarrollo del Milenio. El mismo criterio se aplica para la Figura 6.24 y el Mapa 6.24 que aparecen en la sección de alcantarillado de este mismo capítulo.

²⁵ La cobertura de agua potable incluye a todas aquellas personas que tienen agua entubada dentro de la vivienda o fuera de ella, ya sea dentro del terreno que se habita o en una llave pública o de otra vivienda (INEGI, 2015). El cálculo de la cobertura se realiza a partir de los censos y conteos de población, los años en que no se llevan a cabo estos ejercicios se realiza una estimación (Conagua, 2016b).

que equivaldría en ese último año a cerca de 113.9 millones de personas (INEGI, 2015). Durante dicho periodo, en las zonas urbanas la cobertura pasó de 89.4 a 97.8%, mientras que en las rurales el cambio fue de 51.2 a 86.9%.

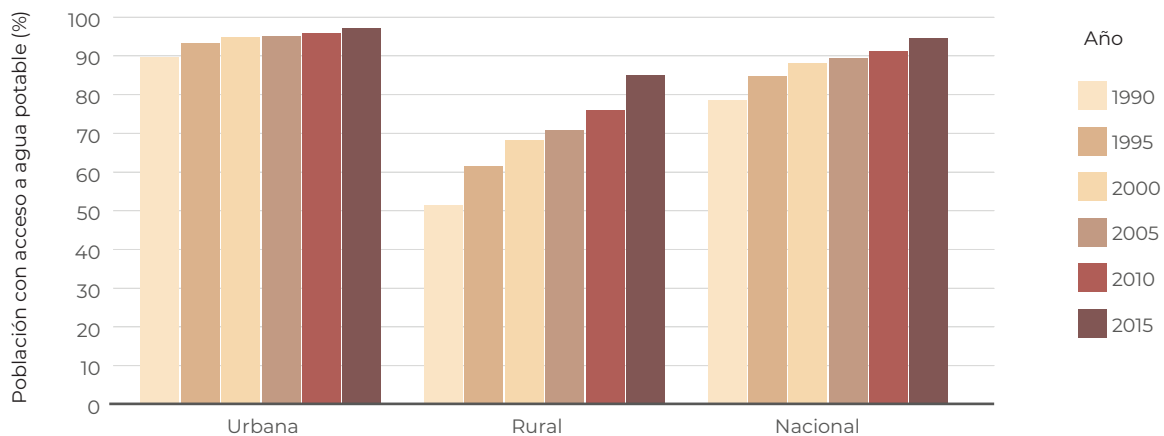
Mapa 6.20 Cobertura mundial de agua potable, 2016



Fuentes:

OMS-UNICEF. Progresos en materia de agua potable y saneamiento. Informe de actualización 2015. OMS-UNICEF, Nueva York, 2015.
 SINA, Conagua. Cobertura universal (mundial). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=coberturaUniversal&ver=mapa&o=0&n=mundial>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.23 Cobertura de agua potable en México, 1990 - 2015



Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2017. Conagua. México, 2017.
 Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*. Edición 2017. Conagua. México, 2017.
 INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010; Censos de Población y Vivienda 1995 y 2005*. INEGI. México.
 INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. Tabulados. INEGI. México, 2015.
 SINA, Conagua. Agua y salud (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaSalud&ver=reporte>. Fecha de consulta: julio de 2018.

En 2015 y 2016 de acuerdo con la Conagua (Conagua, 2017a) e INEGI (INEGI, 2015), las entidades con el mayor acceso a fuentes de agua mejorada fueron Aguascalientes (99%) y la Ciudad de México (98.6%), mientras que aquellas con el menor porcentaje fueron Guerrero, Oaxaca y Chiapas (con 84, 85 y 86%, respectivamente; Mapa 6.21).

Mapa 6.21 Cobertura de agua potable por entidad federativa,¹ 2016



Nota:

¹ Los datos de cobertura de agua potable corresponden a la población que cuenta con el servicio o en servicio.

Fuente:

Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017.

Con respecto al nivel de suministro, a nivel nacional en 2016 se promedió un valor diario de 252 litros de agua por habitante, un volumen superior al mínimo recomendado por la ONU que asciende a 150 litros diarios (50 litros para las necesidades básicas mínimas de alimento y aseo y 100 litros más para cubrir las necesidades generales; FNUAP, 2001). A nivel estatal, el suministro varía ampliamente: en ese mismo año mientras que los habitantes de Colima, Morelos, Sonora y Tabasco recibieron dotaciones de agua mayores a los 400 litros diarios por habitante, los habitantes de Hidalgo, Oaxaca y Puebla recibieron en promedio 128.2 litros diarios (Mapa 6.22).

Además de contar con acceso al agua, es importante que su suministro sea de buena calidad, lo que puede conseguirse por medio de sistemas de potabilización²⁶ o desinfección. Su objetivo es producir agua: 1) sin compuestos químicos ni patógenos que pongan en riesgo la salud de los consumidores; 2) sin sabor o color

²⁶ Potabilización es el conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento público o privado, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano (DOF, 2000). Una planta potabilizadora es un conjunto de estructuras, instalaciones, procesos y operaciones que mejoran la calidad del agua, haciéndola apta para uso y consumo humano (DOF, 1994). Una planta potabilizadora es un conjunto de estructuras, instalaciones, procesos y operaciones que mejoran la calidad del agua, haciéndola apta para uso y consumo humano (DOF, 1994).

desagradable; 3) libre de turbidez; 4) razonablemente blanda (de manera que no se requiera de grandes cantidades de detergentes y jabones para la ducha o para lavar) y 5) no corrosiva al sistema de distribución (IMTA, 2007). En 2016, en el país el proceso de desinfección del agua para consumo humano alcanzó alrededor del 97% del caudal suministrado (equivalente a 339 038 L/s de agua potabilidad²⁷ de 348 306 L/s de agua producida). A nivel de entidad federativa, 14 entidades lograron desinfectar caudales por arriba del 98%, en contraste, Baja California Sur, Chiapas, Guerrero, Michoacán, San Luis Potosí y Yucatán registraron porcentajes de desinfección menores al 95% del agua producida (Mapa 6.23).

Mapa 6.22 Suministro de agua potable per cápita por entidad federativa, 2016



Fuente: Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017.* Conagua, Semarnat. México. 2017.

Plantas potabilizadoras

La capacidad nacional instalada para la potabilización de agua en 2016 ascendió a 140.3 metros cúbicos por segundo en un total de 908 plantas potabilizadoras. No obstante, las plantas en operación permitieron potabilizar un caudal de alrededor de 101.4 metros cúbicos por segundo (72.3% de la capacidad instalada). En ese año la cobertura de agua desinfectada fue del 97.3%, es decir, de 348 metros cúbicos por segundo de agua suministrada a la población, se desinfectaron 339 metros cúbicos por segundo, lo cual significó un avance de 16 litros por segundo más que en el año 2013 (Conagua, 2017c).

²⁷ De acuerdo con Conagua (Conagua, 2017c) el dato presentado es parcial, por diversas dificultades con el flujo de información.

Mapa 6.23Porcentaje de agua desinfectada por entidad federativa,¹ 2016**Nota:**

¹ El porcentaje fue estimado a partir del caudal (L/s) de agua desinfectada entre el caudal (L/s) de agua producida por entidad federativa.

Fuente:

Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017*. Conagua, Semarnat. México. 2017.

De los 339 metros cúbicos por segundo de agua desinfectada suministrada a nivel nacional, se estima que cerca del 59% provinieron de fuentes subterráneas, de las cuales se desinfectan 199 metros cúbicos por segundo; el resto se obtiene de fuentes superficiales, y de éstas, se procesan para su potabilización 140 metros cúbicos por segundo (Conagua, 2017c).

La infraestructura de potabilización no se encuentra repartida de manera regular en el territorio; algunas entidades cuentan con más plantas y por tanto pueden potabilizar mayores caudales de líquido. En 2016, destacaban en este rubro Jalisco, estado de México y Tamaulipas, con caudales superiores a los 12 mil litros por segundo (con 42, 12 y 55 plantas, respectivamente). Esta situación contrasta con la de Morelos y Colima que potabilizaron caudales menores a los 10 litros por segundo; entidades como Nayarit, Quintana Roo, Tlaxcala y Yucatán carecen de plantas potabilizadoras (Conagua, 2017c).

En 2017,²⁸ el proceso de potabilización más utilizado por el número de plantas que lo aplicaban fue el de ósmosis inversa (346 plantas, que representan el 37% del total), seguido por el de clarificación convencional (en 221 plantas) y el de clarificación de patente (163 plantas; Tabla 6.5). Las plantas con el proceso de ósmosis inversa trataron 2 200 litros por segundo, las de clarificación convencional 68 900 litros por segundo y las que utilizan el proceso de clarificación de patente trataron 6 600 litros por segundo (Tabla 6.5).

²⁸ No se cuenta con información desagregada por entidad federativa, para 2014 (Conagua, (Conagua, 2017c).

Tabla 6.5 Procesos empleados en las plantas potabilizadoras en México, 2017

Proceso de potabilización	Descripción	Caudal potabilizado (en L/s) y número total de plantas
Ósmosis inversa	Remoción de iones y moléculas disueltas en el agua, por medio de altas presiones que fuerzan su paso a través de una membrana semipermeable que retiene las partículas mayores a 0.0001 µm.	2 200 (346)
Clarificación convencional	Se emplea para aguas superficiales con alta turbiedad, color y/o microorganismos. Reduce la concentración de materiales suspendida. A menudo emplea filtros de arena con tamaño del grano mayor de 0.5 mm.	68 900 (221)
Clarificación de patente	Puede ser convencional, filtración directa y filtros lentos, que se modifica en alguna de sus partes y se considera de fabricación exclusiva por un fabricante.	6 600 (163)
Filtración directa	Se emplea para aguas con niveles bajos de turbiedad, color y/o microorganismos. Se emplea con o sin pretratamiento de filtración directa; elimina los sólidos presentes originalmente en el agua, o los precipitados. Consiste de una mezcla rápida de reactivos químicos, filtración y desinfección.	19 700 (99)
Ablandamiento	Reduce o elimina la dureza del agua por presencia de iones calcio y magnesio de formaciones geológicas. Normalmente por precipitación química, pero puede ser por intercambio iónico u otro proceso.	600 (19)
Filtro de carbón activado	Gran capacidad de adsorción de diversos elementos, eliminación del cloro libre y compuestos orgánicos. Se emplea en las depuraciones de agua subterránea, purificaciones del caudal final de las estaciones de tratamiento de agua potable.	0 (33)
Remoción de Fe y Mn	El ablandamiento con cal también sirve para remover fierro y manganeso. Particularmente útil cuando estos elementos se encuentran con componentes que no son fácilmente oxidables.	1 800 (19)
Filtración lenta	Para aguas crudas con bajos contenidos de turbiedad y color, que no requiere tratamiento químico; generalmente para pequeños sistemas de abastecimiento. Se usa filtración y desinfección, su limpieza es manual, extrayendo la capa mas superficial del filtro con la materia retenida.	100 (3)
Adsorción	Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separados de la solución.	100 (3)
Otro	Sin información específica.	200 (16)

Fuentes:

Conagua. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición 2007.* Conagua, Semarnat. México. 2007.

SINA, Conagua. *Principales procesos de potabilización aplicados.* Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasPotabilizadoras&ver=reporte>. Fecha de consulta: agosto de 2018.

Alcantarillado y saneamiento mejorado

El acceso a alcantarillado y a las fuentes de saneamiento mejorado, junto con el acceso a agua potable, son otros de los servicios básicos para la población ya que reducen la incidencia de enfermedades de origen hídrico causadas por el uso de agua contaminada con patógenos o componentes químicos derivados del mal manejo de las aguas residuales (Conagua, 2016b; ver el capítulo **Población y medio ambiente**). En México se estima que el alcantarillado evita cada año la muerte de

2.2 millones de niños y reduce también los gastos en salud pública y productividad por enfermedades y muertes prematuras (Conagua, 2016b y 2017b). Paralelamente, el alcantarillado disminuye la presión que las aguas residuales de origen municipal ejercen sobre la calidad de las fuentes de suministro de agua, al evitar su descarga directa y canalizarlas, en la mayoría de los casos, a plantas de tratamiento (Conagua, 2016b).

A nivel mundial, a partir de los Objetivos de Desarrollo del Milenio se pretendía reducir a la mitad la población sin acceso a servicios básicos de saneamiento mejorado²⁹ entre 1990 y 2015; esto implicaba extender su cobertura de 54 a 77% de la población mundial. Sin embargo, a diferencia del acceso a agua potable, esta meta no se alcanzó, en 2015 la población con acceso a saneamiento mejorado fue de 68%. Los nueve puntos porcentuales restantes para alcanzar la meta mundial planteada en los ODM representarían dotarles de este servicio a 700 millones de personas más. No obstante, aunque la meta no se cumplió, el avance entre 1990 y 2015 significó proveer con este servicio a 2 100 millones de personas en todo el mundo (UNICEF-WHO, 2017). Al igual que con el acceso a agua potable, la tendencia en la cobertura de saneamiento mejorado es mayor en las regiones urbanas que en las rurales, con 82 y 51%, respectivamente.

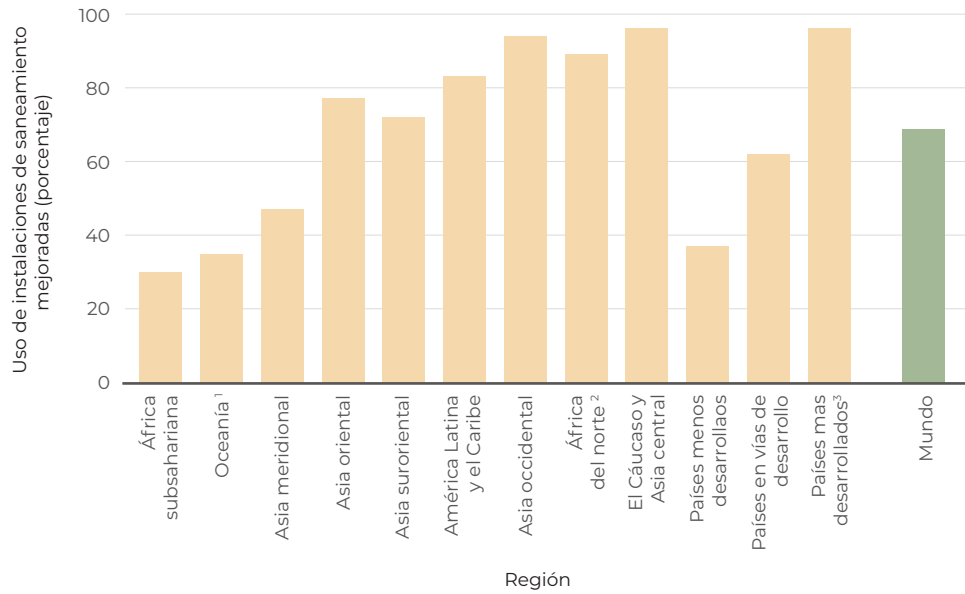
El acceso a los servicios de saneamiento mejorado no es homogéneo en el mundo. En la figura 6.24 se observa que el grupo de los países desarrollados, aunque tienen una mayor cobertura, quedaron un punto porcentual por debajo de su meta regional para 2015, que era de 97%. La misma diferencia se presentó en América Latina y el Caribe, la cual quedó en 83%. África Subsahariana apenas alcanzó el 30% y Oceanía el 35%, quedando muy por debajo de sus metas regionales que eran de 62 y 68%, respectivamente. Las regiones del Cáucaso y Asia Central, Asia Oriental, África Septentrional y Asia occidental alcanzaron sus metas regionales (UNICEF-WHO, 2017; Figura 6.24 y Mapa 6.24).

En el periodo 1990-2015, en México la población que no contaba con alguna fuente de saneamiento mejorado disminuyó de 38.5 a 7.2%. En 2015 la cobertura nacional de saneamiento mejorado³⁰ alcanzó 92.8% (Figura 6.25), lo cual significa, que aún casi 9 millones de habitantes no cuentan con el servicio. A nivel de entidad federativa destacan la Ciudad de México, Aguascalientes y Morelos, con coberturas del 99% cada una. En contraste, Oaxaca y Guerrero tienen coberturas inferiores al 80% (Mapa 6.25). Al igual que en el caso del agua potable, existen marcadas diferencias en la cobertura de fuentes de saneamiento mejorada entre las zonas urbanas y las rurales: las primeras alcanzaron una cobertura de 97.4% mientras que en las rurales solo cubren al 77.5% de la población (Figura 6.25).

²⁹ En el contexto internacional enmarcado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la OMS y la UNICEF, se define al saneamiento mejorado como tecnología de más bajo costo que permite eliminar higiénicamente las excretas y las aguas residuales, lo cual permite el desarrollo en un ambiente limpio y sano. La cobertura de saneamiento mejorado se refiere al porcentaje de personas con acceso a alcantarillas, a sistemas sépticos o a letrinas (OMS, 2018). Los datos mostrados en la Figura 6.24 y el Mapa 6.24 corresponden a estos criterios y no son directamente comparables con los mostrados específicamente para México por la Conagua (Figura 6.25 y Mapa 6.25) a partir de la información recabada por INEGI en los Censos y Conteos de Población y Vivienda, ya que incluye dentro de su concepto "cobertura de alcantarillado" a las personas que cuentan con conexión a la red de alcantarillado o una fosa séptica, o bien a un desagüe, barranca, grieta, lago o mar.

³⁰ Para efectos del presente informe, se considera como cobertura de alcantarillado solo a población con la conexión a la red de alcantarillado o a una fosa séptica, tanque séptico, letrinas de pozo mejoradas, por lo que los datos difieren de los reportados por la Conagua (Conagua, 2016c).

Figura 6.24 Cobertura mundial de instalaciones de saneamiento mejorado, 2015



Notas:

¹ Incluye solamente las islas que forman parte de los archipiélagos de Melanesia, Polinesia y Micronesia.

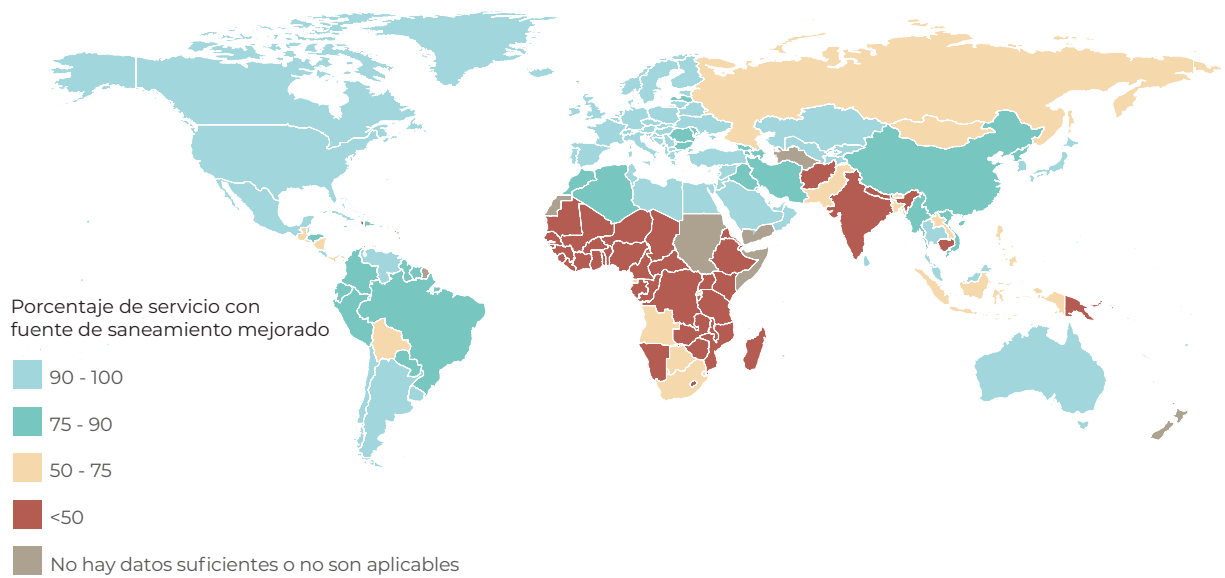
² Incluye países de África septentrional.

³ Incluye a Estados Unidos, Canadá, Unión Europea, Australia, Japón, Corea del norte, Corea del Sur y Rusia.

Fuente:

OMS-UNICEF. Progresos en materia de saneamiento y agua potable. Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM. OMS-UNICEF. Nueva York, 2015.

Mapa 6.24 Cobertura con fuente de saneamiento mejorado en el mundo, 2016



Fuentes:

UNICEF-WHO. Progress on sanitation and drinking water: 2015. Update and MDG assessment. UNICEF-WHO. USA. 2015.

SINA, Conagua. Cobertura universal (mundial). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=coberturaUniversal&ver=mapa&o=1&n=mundial>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.25 Cobertura de alcantarillado por entidad federativa,¹ 2016



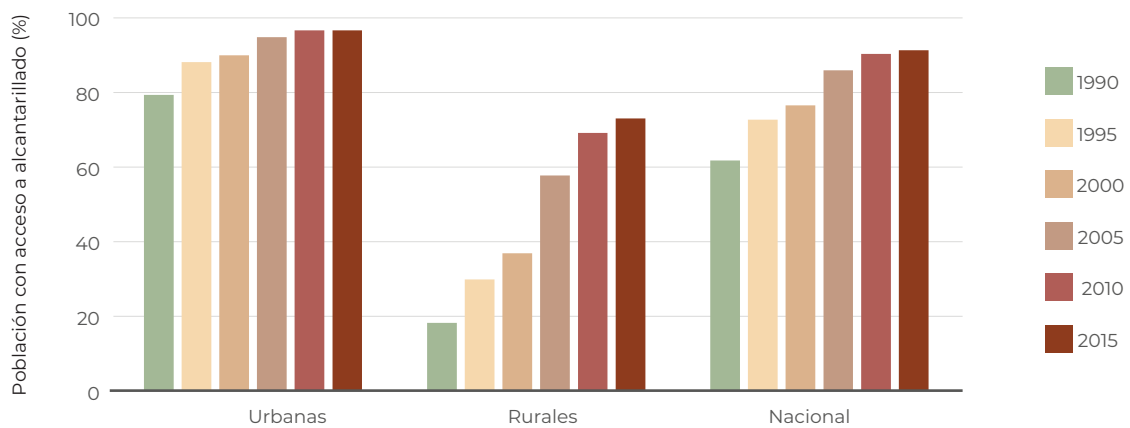
Nota:

¹ Los datos de cobertura de alcantarillado corresponden a la población que cuenta con desagüe a la red pública o a fosa séptica, tanque séptico o letrina de pozo mejorado ventilado.

Fuentes:

Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017.
SINA, Conagua. Cobertura universal (estatal). Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=coberturaUniversal&ver=mapa&o=1&n=estatal>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Figura 6.25 Cobertura con fuente de saneamiento mejorado¹ en México, 1990 - 2015



Nota:

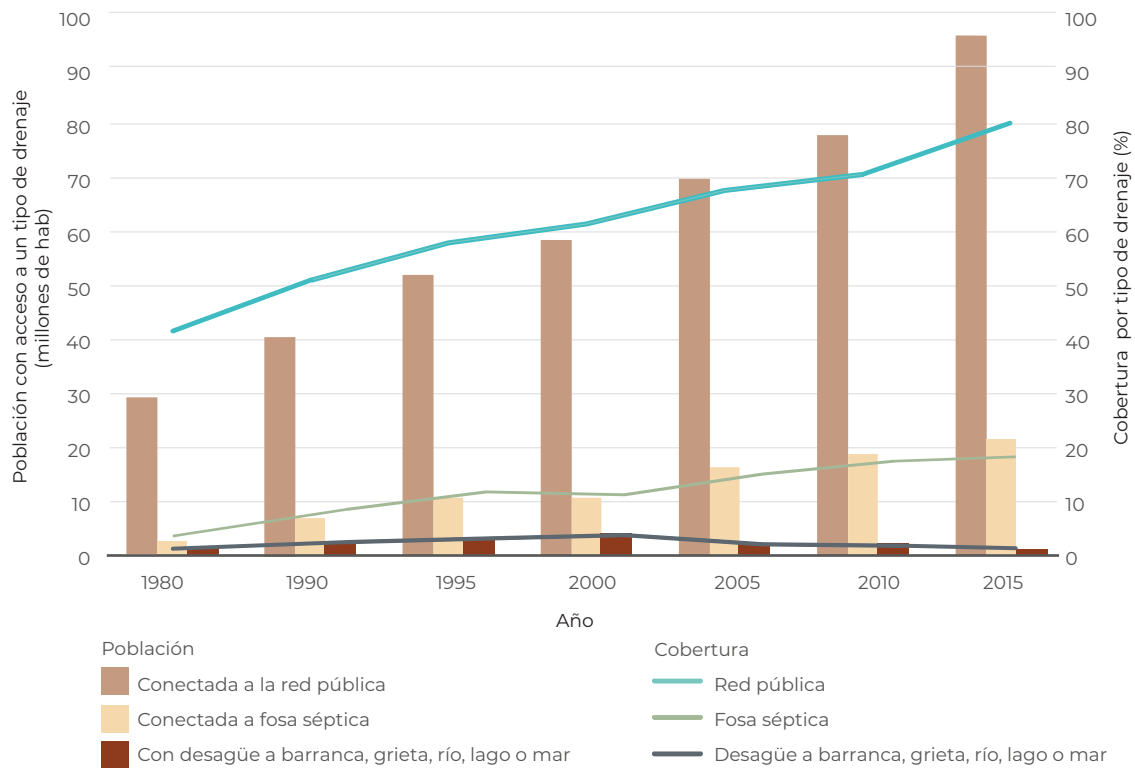
¹ Incluye las descargas conectadas a un alcantarillado, tanque o letrina de pozo mejorado y ventilado.

Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2016. Conagua. México. 2016.
Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017.
INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1990, 2000 y 2010; Conteos de Población y Vivienda 1995 y 2005*. INEGI. México.
INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. Tabulados. INEGI. México. 2015.
SINA, Conagua. Agua y salud (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=aguaSalud&ver=reporte>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Además, la cobertura por el tipo de saneamiento mejorado también ha cambiado en el tiempo. En 2015 la población conectada a la red de alcantarillado sumó 95.8 millones de habitantes, lo que equivale al 80.2% de la población con el servicio de saneamiento mejorado; en contraste, la población sin saneamiento mejorado, es decir, cuyo desagüe va a dar hacia las barrancas, grietas, ríos, lagos o al mar fue de casi 1.2 millones, lo que representa menos del 1% de la población (Figura 6.26).

Figura 6.26 Población con acceso a alcantarillado por tipo de drenaje, 1980 - 2015



Fuentes:

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1980*. INEGI. México. 1980.
 INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1990*. INEGI. México. 1990.
 INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1995*. INEGI. México. 1995.
 INEGI. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Tabulados básicos, Tomo I*. INEGI. México. 2001.
 INEGI. *II Censo de Población y Vivienda 2005. Tabulados básicos, Tomo I*. INEGI. México. 2006.
 INEGI. *Encuesta Intercensal 2015. Tabulados*. INEGI. México. 2015.
 SINA, Conagua. Cobertura universal (nacional). Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=coberturaUniversal&ver=reporte&o=1&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

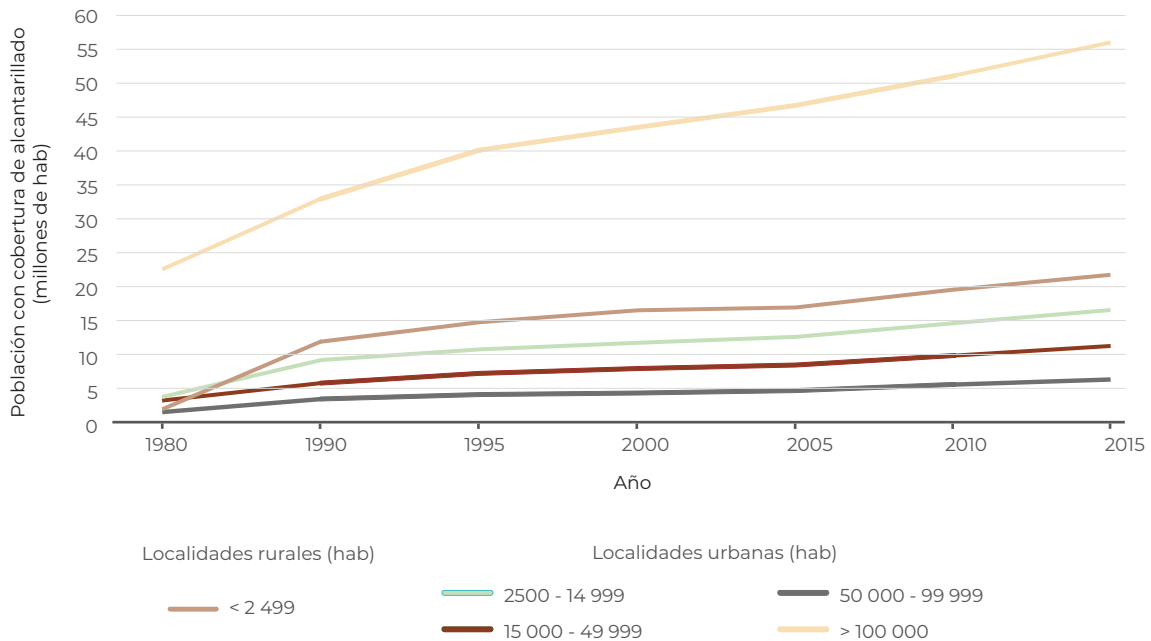
En 2015 la población conectada a la red de alcantarillado sumó 95.8 millones de habitantes, lo que equivale al 80.2% de la población con el servicio de saneamiento mejorado; en contraste, la población sin saneamiento mejorado, es decir, cuyo desagüe va a dar hacia las barrancas, grietas, ríos, lagos o al mar fue de casi 1.2 millones, lo que representa menos del 1% de la población (Figura 6.26).

Considerando el tamaño de las localidades, la evolución de la población con acceso a fuentes de saneamiento mejorado ha sido distinta. En las localidades rurales³¹ la población con acceso a fuentes mejoradas se incrementó entre 1980 y 2015 de 1.95

³¹ Las localidades rurales comprenden menos de 2 500 habitantes y las urbanas 2 500 o más habitantes. Sin embargo, para INEGI (INEGI, 2017), existe una categoría intermedia denominada localidades mixtas o en transición, que comprende entre 2 500 y 14 999 habitantes.

a 21.3 millones (es decir, del 6 al 19% de la población total). En el mismo periodo, las poblaciones urbanas con más de 100 mil habitantes aumentaron de 22.4 millones de personas (68% de la población en 1980) a 55.5 millones (50% de la población en 2015; Figura 6.27).

Figura 6.27 Población con cobertura de alcantarillado por tamaño de población,^{1,2,3} 1980 - 2015



Notas:

- ¹ De acuerdo a INEGI una localidad se considera rural cuando tiene menos de 2 500 habitantes, mientras que una urbana es aquella donde viven 2 500 o más. Existe una categoría intermedia denominada localidades mixtas o en transición, que comprende entre 2 500 y 14 999 habitantes.
- ² En el año 1980 existían alrededor de 66 365 920 personas habitando 12 074 609 viviendas particulares, siendo éstas de construcción fija, móvil o refugio. La población total era de aproximadamente 66 846 833 personas.
- ³ En 1980 aproximadamente el 49% de las viviendas (5 916 514) no contaban con servicio de alcantarillado.

Fuentes:

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 1980*. INEGI. México. 1980.
 INEGI. *Conteo de Población y Vivienda 1990*. INEGI. México. 1990.
 INEGI. *Conteo de Población y Vivienda 1995*. INEGI. México. 1995.
 INEGI. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. Tabulados básicos, Tomo I. INEGI. México. 2001.
 INEGI. *II Conteo de Población y Vivienda 2005*. Tabulados básicos, Tomo I. INEGI. México. 2006.
 INEGI. *Encuesta Intercensal 2015*. Tabulados. INEGI. México. 2015.

Tratamiento de aguas residuales

La solución más común para desalojar las aguas residuales ha sido descargarlas directamente a los cuerpos de agua. De esta forma, el problema se diluía o se enviaba lejos de su sitio de origen con la esperanza o suposición de que los ecosistemas procesarían los contaminantes y no tendrían consecuencias negativas. Sin embargo, cuando el volumen de aguas residuales descargado creció y rebasó la capacidad natural de los ecosistemas acuáticos para procesarlo, se hicieron evidentes los graves problemas de salud y ambientales que ocasionaban.

Una de las opciones para atender el problema de la contaminación ocasionada por las aguas residuales ha sido someterlas a algún tipo de tratamiento que reduzca la cantidad de contaminantes antes de verterlas a los cuerpos de agua. El tratamiento permite que las aguas puedan ser vertidas en los cuerpos naturales sin graves impactos, aprovechando también la capacidad de los ecosistemas acuáticos de absorberlos, diluirlos y procesarlos. En términos generales, el tratamiento se refiere a un conjunto de procesos, tanto físicos, químicos y biológicos, que remueven o reducen los contaminantes. Estos procesos se clasifican en general en tres niveles, los cuales de manera progresiva eliminan desde la materia sólida que no se disuelve en el agua, hasta los microorganismos patógenos y los olores desagradables que caracterizan a las aguas residuales. Los procesos de tratamiento más comunes incluyen los lodos activados, lagunas de estabilización, primario avanzado, lagunas aireadas, filtros biológicos, dual y otros.

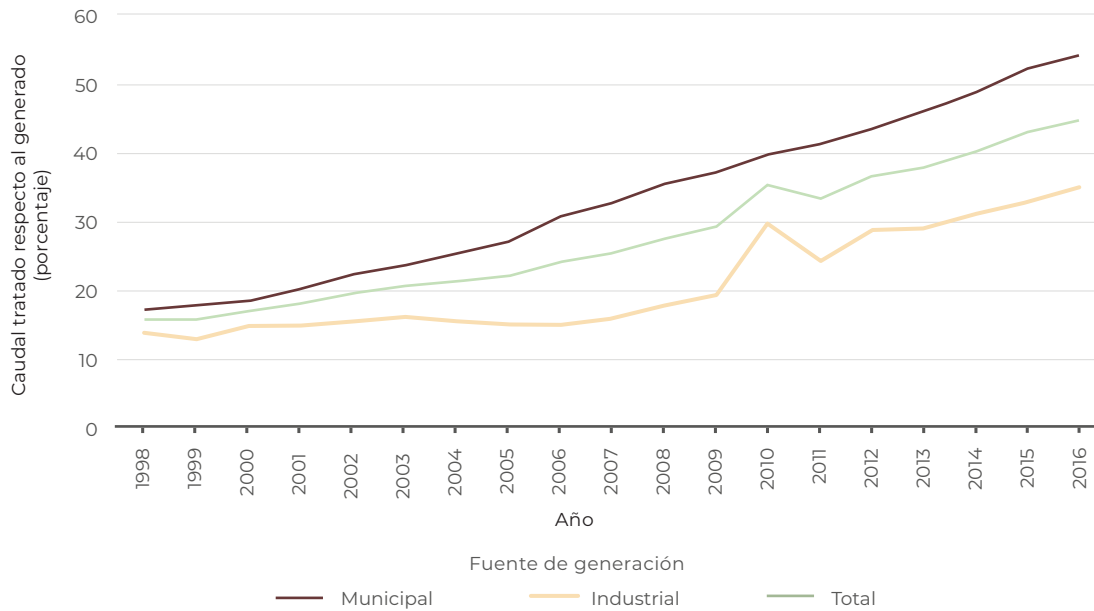
En México se ha avanzado en el tratamiento de las aguas residuales en las últimas dos décadas. En 2016 en el país se trataron 123.6 metros cúbicos por segundo de aguas residuales en 2 536 plantas municipales y 75.9 metros cúbicos en 3 041 plantas industriales, lo que representa un incremento de más del doble respecto al volumen tratado en 1998 (Figura 6.28). En nuestro país en 2016 se trató poco más del 45% del total del caudal de aguas residuales generado, valor por debajo de países como Bosnia y Herzegovina, Croacia, Polonia, Reino Unido, Rumania y Suiza (que en 2015 trataron en promedio más del 90% de sus aguas residuales), pero superior al de los países como Iraq, Siria, Tailandia y Vietnam, que trataron menos del 15% de sus aguas residuales.

Existe una variación importante entre entidades federativas respecto al porcentaje de aguas residuales municipales que se tratan con relación al caudal generado: en 2016, Baja California, Nuevo León y Tamaulipas trataron más del 95% del caudal generado, mientras que en Yucatán, Campeche e Hidalgo fue menor al 10% (Mapa 6.26).

Plantas de tratamiento de aguas residuales

En 2016, el sistema de alcantarillado municipal colectó por segundo alrededor de 212.2 metros cúbicos de agua, de los cuales se trató el 58.3% (es decir, alrededor de 123.6 metros cúbicos por segundo), todo ello en 2 536 plantas municipales. Aun cuando en el país se tiene una capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales de casi 181 metros cúbicos por segundo, en 2016 solo se trataron alrededor de 123.6 metros cúbicos por segundo, es decir, el 68.3% de la capacidad instalada. La diferencia entre la capacidad instalada y la operativa puede explicarse debido a que no todas las plantas operan a su capacidad total, ya sea porque problemas de azolvamiento, mantenimiento, rehabilitación o por falta de presupuesto (Conagua, 2016b y c, Conagua, 2017b y c).

Figura 6.28 Tratamiento de aguas residuales respecto al caudal generado, 1998 - 2016



Fuentes:

Conagua. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2010. Conagua. México, 2010.
 Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1998-2017. México. 1998-2017.
 Semarnap. *Estadísticas del Medio Ambiente 1999*. Semarnap-INEGI. México. 2000.
 SINA, Conagua. *Descarga de aguas residuales municipales*. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=descargasResiduales&ver=reporte&o=0&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.
 SINA, Conagua. *Descarga de aguas residuales no municipales*. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=descargasResiduales&ver=reporte&o=1&n=nacional>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Mapa 6.26 Tratamiento de aguas residuales municipales,¹ 2016



Notas:

¹ El caudal generado fue estimado en función de los parámetros de población, suministro de agua, aportación y cobertura.
² El caudal excedente de agua residual tratada se debe a que existen usuarios con fuentes de abastecimiento propias que descargan al alcantarillado municipal.

Fuente:

Conagua. *Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento*. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México. 2017.

Para el tratamiento de las aguas de origen industrial, en 2016 se tenían registradas 3 041 plantas industriales, las cuales trataron 75.9 metros cúbicos por segundo, lo que equivale al 85.2% de su capacidad instalada (que era de 89.1 metros cúbicos por segundo; Conagua, 2016c). Estas plantas removieron alrededor de 1.5 millones de toneladas de DBO₅, un volumen cercano al 14.7% de la carga orgánica de las aguas industriales generadas.

Si se observa la capacidad de tratamiento del agua residual industrial por entidad federativa, la Ciudad de México, el estado de México y Puebla trataron en 2016 casi el 100% del caudal suministrado respecto a su capacidad instalada. En contraste, las entidades que menos agua residual industrial trataron fueron Hidalgo (2.7%) y Aguascalientes (33.9%; Mapa 6.27).

Mapa 6.27 Tratamiento de aguas residuales industriales,¹ 2016



Nota:

¹ El agua residual industrial en México es saneada bajo tres tipos de tratamiento: primario, secundario y terciario. El tratamiento más utilizado es el secundario y se aplica en 1 847 plantas que tienen un gasto de operación de 46.2 metros cúbicos por segundo.

Fuente:

Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017. Conagua, Semarnat. México, 2017.

Las aguas residuales industriales son tratadas en tres niveles: primario, secundario y terciario (en la Tabla 6.6 se describen los tipos de tratamiento), de los cuales el más utilizado es el secundario (49.5 m³/s; 59%), empleado en 1 831 plantas (Figura 6.29). Este nivel de tratamiento, además del cribado y la sedimentación que se realiza en el proceso primario, implica un proceso biológico en el que el material orgánico se digiere y convierte en células o tejido celular y otros subproductos inocuos como bióxido de carbono y agua. En el tratamiento secundario se puede obtener una remoción de entre 80 y 90% de la DBO original, lo que permite que el agua vertida con estas condiciones no tenga impactos significativos en el cuerpo

de agua receptor (Conagua, 2016b y c). En 2017, el 35.9% (30.1 m³/s) del caudal de aguas residuales industriales generadas recibió tratamiento primario, 59.1% (49.5 m³/s) tratamiento secundario y el 2.2% (1.8 m³/s) tratamiento terciario.³²

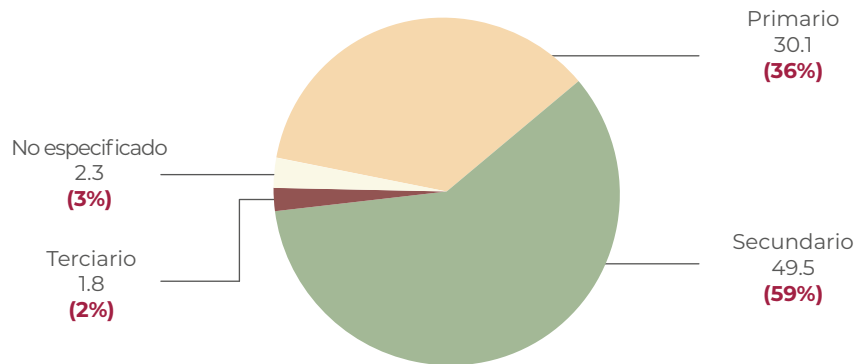
Tabla 6.6 Tratamiento de aguas residuales industriales

Tratamiento	Características
Primario	Ajustar el pH y remover materiales orgánicos y/o inorgánicos en suspensión con tamaño igual o mayor a 0.1 mm.
Secundario	Remover materiales orgánicos coloidales y disueltos.
Terciario	Remover materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus.
No especificado	

Fuentes:

Conagua. Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. Conagua, Semarnat. México. 2013
 SINA, Conagua. Tipos de tratamientos de aguas residuales industriales. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=1&n=nacional>. Fecha de consulta: marzo de 2018.

Figura 6.29 Caudal tratado de aguas residuales industriales, por gasto de operación (m³/s), 2017



Nota:

Los cifras corresponden a la cantidad de plantas por tipo de tratamiento. Entre paréntesis se indica el porcentaje del gasto por tipo de tratamiento con respecto al gasto del total de las plantas.

Fuentes:

Conagua. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2017. México. 2017.
 SINA, Conagua. *Tipos de tratamiento de aguas residuales industriales*. Conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=2&n=nacional>. Fecha de consulta: octubre de 2018.

SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

PESCA

Los ecosistemas acuáticos marinos y continentales suministran servicios ambientales fundamentales para la sociedad; además del agua dulce para los diferentes usos consuntivos, proveen de otros bienes como son alimentos y

³² El tipo de tratamiento del restante 3% del caudal de aguas residuales industriales no está especificado por la fuente.

materiales de construcción, entre los más importantes. Con la energía de los ríos, también se produce una parte importante de la electricidad que abastece al sector doméstico, público y al industrial. Aunado a ello debe agregarse su importante papel en la regulación del clima y del ciclo hidrológico, en el secuestro de carbono y la protección de las zonas costeras, entre muchos otros.

La pesca es uno de los servicios ambientales más importantes de los ecosistemas marinos y los de aguas continentales (FAO, 2016). Sin embargo, el crecimiento que la producción pesquera ha experimentado desde la segunda mitad del siglo pasado ha puesto en riesgo a muchas pesquerías globalmente. La sobreexplotación de las pesquerías no solo tiene consecuencias ecológicas adversas, también afecta el bienestar social y económico de las comunidades que dependen de ellas y que, en muchos casos, son las de menores ingresos, particularmente en los países en desarrollo y en los pequeños estados insulares (Vázquez-León, 1998; Duffy, 2010; Fisher *et al.*, 2015).

En 2014, la producción pesquera mundial, considerando la captura y la acuicultura, alcanzó 167.2 millones de toneladas: 85.5 millones en aguas marinas (48.7% del total) y 11.9 millones en las zonas continentales (7.1%); en el caso de la acuicultura la producción fue de 73.8 millones de toneladas (44.1 del total): 26.7 millones en aguas marinas y 47.1 millones en las zonas continentales. Destaca en particular en los últimos años el crecimiento de la producción acuícola: mientras que en 2007 contribuía con 35.5% a la producción global, en 2014 alcanzó el 44.1% (FAO, 2016).

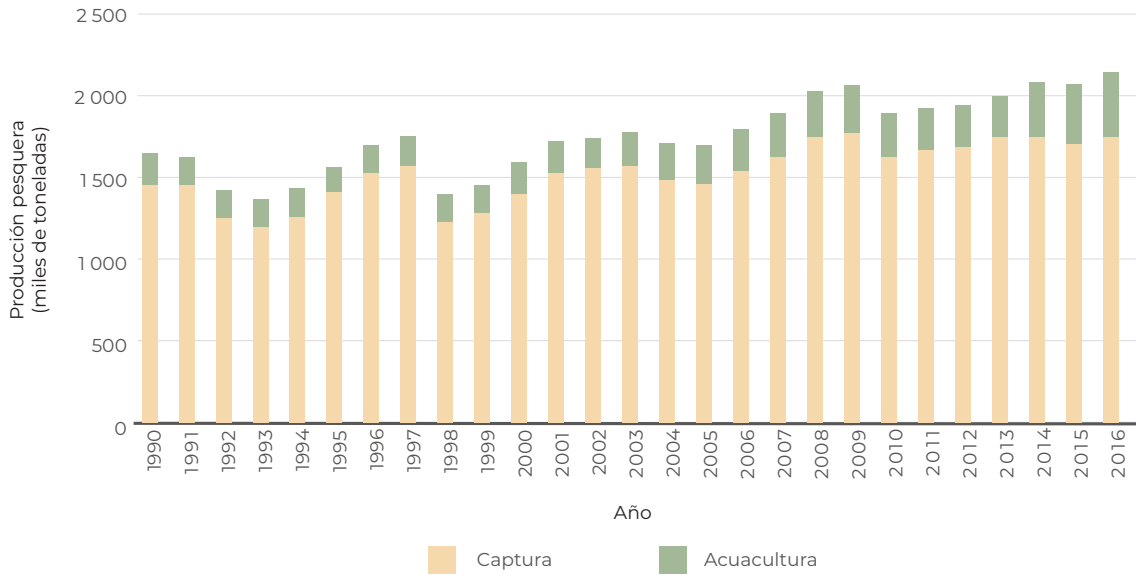
En México, la pesca contribuye con un porcentaje bajo del Producto Interno Bruto (en 2017 contribuyó con alrededor del 0.02%; INEGI, 2018a y b); sin embargo, es relevante para la economía local de muchas zonas y para la subsistencia de diversas comunidades en el país: en 2018 poco menos de 300 mil pescadores y 12 millones de personas, directa o indirectamente, se vinculaban con las actividades pesqueras (Conapesca, 2014; FAO, 2016).

En el periodo 1990-2016, la producción pesquera mexicana registró un promedio anual cercano a las 1.53 millones de toneladas (Figura 6.30), lo que lo ubica en el lugar 16 entre los mayores productores a nivel mundial, con poco más del 1.7% de la captura total en 2014 (FAO, 2016). En cuanto a la acuicultura, nuestro país ocupa el sitio 22 a nivel mundial (FAO, 2016).

Al total de la pesca nacional, los estados del litoral del Pacífico aportaron el 77.2% de la producción³³ entre 1990 y 2016, con un promedio anual de 1.2 millones de toneladas. Por su parte, los estados del Golfo de México y mar Caribe aportaron 20.2% (en promedio 308 569 toneladas anuales) y la parte continental aportó el 2.6% (39 301 toneladas anuales en promedio; cuadro D2_PESCA01_00; Figura 6.31).

³³ Incluye captura y acuicultura.

Figura 6.30 Producción pesquera nacional, 1990 - 2016

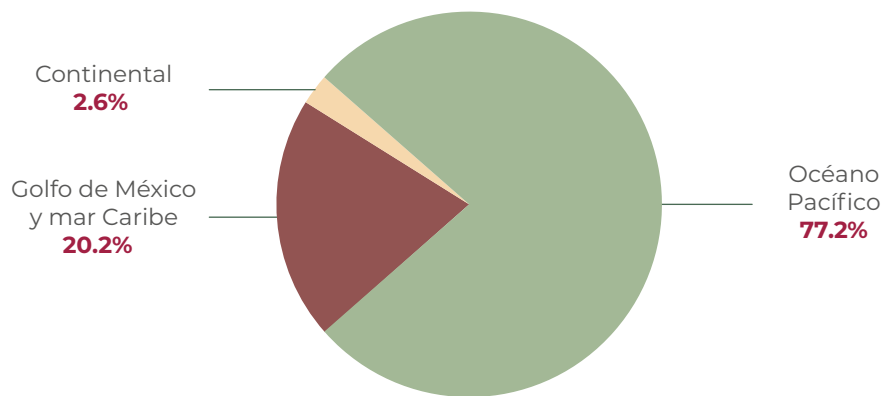


Fuentes:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación. Conapesca, Sagarpa. México. Abril de 2017.
 Sagar. *Anuario Estadístico de Pesca*. Ediciones 1990-1994. Sagar, Sepesca. México. 1991-1995.
 Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca*. Ediciones 2000-2002. Sagarpa, Conapesca. México. 2000-2002.
 Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. Ediciones 2003-2013. Sagarpa, Conapesca. México. 2003-2013.
 Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca*. Ediciones 1995-1999. Semarnap. México. 1995-1999.

Por su parte, la acuicultura en 2016 alcanzó 388 mil toneladas, con poco más de 282.6 mil toneladas en el litoral del Pacífico (72.9% de la producción acuícola total) y 64.2 mil (16.5%) en los estados del Golfo de México y mar Caribe; las entidades sin litoral produjeron 40.9 mil toneladas (10.6%). La aportación de la acuicultura se incrementó de 13.2 a 22.1% entre 1990 y 2016 (Conapesca, 2017; IB 8-1).

Figura 6.31 Producción pesquera promedio según origen,¹ 1990 - 2016



Nota:

¹ Se incluye la producción pesquera por captura y acuicultura.

Fuentes:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación. Conapesca, Sagarpa. México. Abril de 2017.
 Conapesca. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. 2003-2010. Conapesca, Sagarpa. México, 2004-2011.
 Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca*. 2000-2002. Sagarpa. México, 2001-2003.
 Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca*. 1995-1999. Semarnap. México, 1996-2000.
 Sagar. *Anuario Estadístico de Pesca*. Ediciones 1990-1994. Sagar, Sepesca. México. 1991-1995.

Las cuatro entidades con mayor producción pesquera en 2016 fueron Sonora (457 477 toneladas; 26.1% del total nacional), Sinaloa (314 111 toneladas; 17.9%), Baja California Sur (166 793 toneladas; 9.5%) y Baja California (138 475 toneladas; 7.9%); en total, la suma de la producción en estas entidades corresponde al 61.5% de la producción nacional (cuadro D2_PESCA01_01; Mapa 6.28).

Respecto a la acuicultura, los estados con mayor producción fueron Sinaloa (62 328 toneladas; 16.1% del total nacional), Sonora (57 447 toneladas; 14.8%), Chiapas (43 950 toneladas; 11.3%), Jalisco (39 025 toneladas, 10.1%) y Veracruz (37 089 toneladas, 9.6%); en conjunto estos cinco estados aportaron el 61.9% de la producción acuícola total en el país.

Mapa 6.28 Producción pesquera por entidad federativa,¹ 2016



Nota:

¹ Se incluye la producción pesquera por captura y acuicultura.

Fuente:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación. Conapesca, Sagarpa. México. Abril de 2017.

En 2016, las pesquerías con mayor contribución a la producción nacional fueron las de sardina,³⁴ atún y camarón, con 643 161 toneladas, lo que corresponde al 65.1% de la producción nacional pesquera. De éstas, la que tuvo un mayor volumen de producción fue la de sardina (44.7% de la producción nacional; 441 383 toneladas), le sigue la de atún (10.6%; 104 519 toneladas) y después la de camarón (9.8%; 97 259 toneladas; Conapesca, 2017).

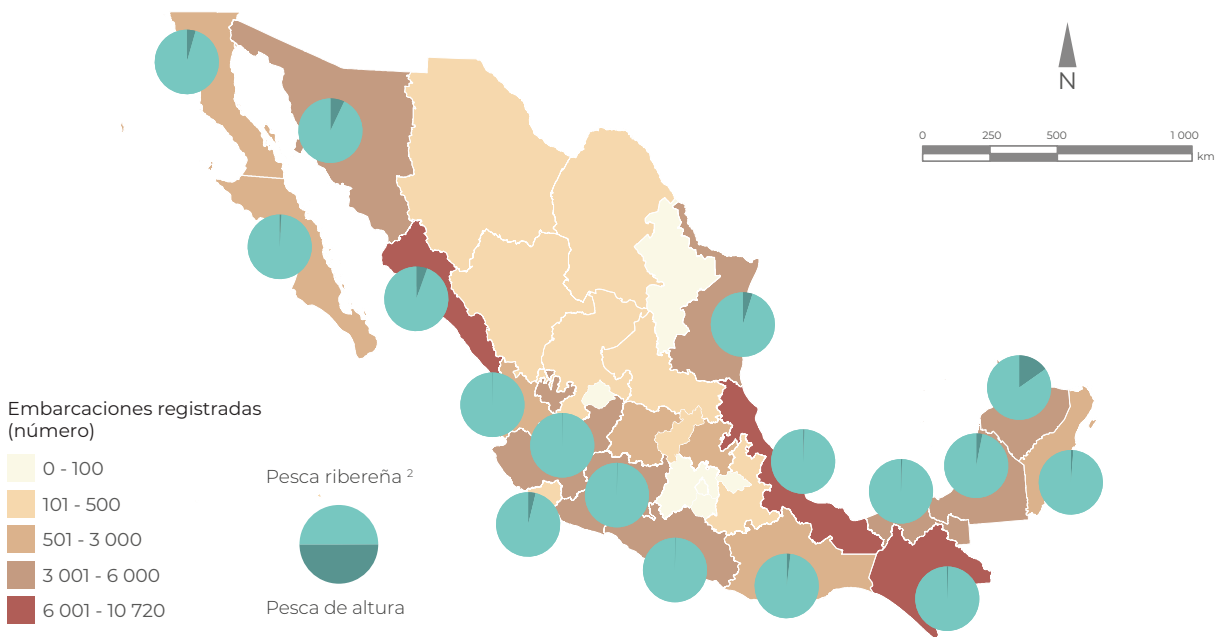
En las últimas décadas la flota pesquera (integrada por embarcaciones para pesca de altura y ribereña) no ha crecido de manera importante: entre 1990 y 2016 aumentó 1.9%, pasando de 74 572 a 75 997 embarcaciones (IB 8-2). De acuerdo con el tipo de

³⁴ Incluye sardina para consumo directo e indirecto (sardina industrial).

embarcación, 2 019 embarcaciones correspondían a la flota de altura (2.7% del total) y 73 978 a embarcaciones eran utilizadas para la pesca ribereña (97.3%; Conapesca, 2017).

Hasta el año 2016 la flota de altura en el litoral del Pacífico ascendía a 1 090 unidades, con el mayor número en Sinaloa (590 unidades; 54.1% del total del litoral), Sonora (323; 29.6%) y Baja California (85; 7.8%). En el litoral del Golfo y mar Caribe sumó 929 embarcaciones, con Yucatán (539 embarcaciones; 58% del total del litoral), Tamaulipas (174; 18.7%) y Campeche (117; 12.6%) como las entidades con mayor número de unidades. Respecto a las embarcaciones de pesca ribereña, el mayor número se encontraba en el litoral del Pacífico (43 888 unidades en total), concentrándose en Sinaloa (10 130 embarcaciones; 23.1% del total del litoral), Chiapas (6 025; 13.7%) y Michoacán (5 952; 13.6%); en el Golfo y mar Caribe se contabilizó un total de 26 324 embarcaciones ribereñas y los estados con mayor número de ellas fueron Veracruz (9 998; 38% del litoral), Tabasco (5 571; 21.2%) y Campeche (3 628; 13.8% del total; Mapa 6.29).

Mapa 6.29 Embarcaciones registradas por tipo de pesca por entidad federativa,^{1,2} 2016



Notas:

¹ Las entidades sin litoral no tienen gráfica puesto que toda su flota es ribereña. En Baja California Sur, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Tabasco y Veracruz, la flota de altura es menor al uno por ciento del total de la flota estatal.

² Pesca ribereña: embarcaciones cuya actividad pesquera es principalmente comercial y cuya eslora es igual o menor a 10 m.

Fuente:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación. Conapesca, Sagarpa. México. Abril de 2017.

Considerando el número total de embarcaciones en 2016, las entidades que registraron un mayor número en el litoral del Pacífico fueron Sinaloa (590 embarcaciones de altura y 10 130 ribereñas), Chiapas (11 de altura y 6 025 ribereñas), Michoacán (solo poseía 5 952 embarcaciones ribereñas), Jalisco

(5 138 embarcaciones ribereñas) y Sonora (323 de altura y 4 244 ribereñas; Mapa 6.29). En el litoral del Golfo y mar Caribe las cinco entidades con mayor número de embarcaciones ese año fueron Veracruz (61 embarcaciones de altura y 9 998 embarcaciones ribereñas), Tabasco (28 de altura y 5 571 ribereñas), Campeche (117 de altura y 3 628 ribereñas), Yucatán (539 de altura y 2 990 ribereñas) y Tamaulipas (174 embarcaciones de altura y 3 377 ribereñas).

Con respecto a la composición de la flota pesquera de altura, en 2016 había 1 072 embarcaciones camaroneras, 737 en el litoral del Pacífico (68.8% del total) y el resto en el litoral del Golfo y mar Caribe (335 barcos, 31.2%). En ese mismo año, las atuneras sumaban 89 unidades; 56 de ellas en el Pacífico (62.9%) y 33 (37.1%) en el Golfo de México; mientras que casi toda la flota destinada a la pesca de sardina (91 embarcaciones, 98.9%) se ubicó en el litoral del Pacífico y solo una embarcación (1.1%) se encontraba en el litoral del Golfo y mar Caribe. De las embarcaciones destinadas a la pesca de especies de escama,³⁵ 206 (26.9%) se encontraban en el litoral del Pacífico y 560 (73.1%) en el litoral del Golfo y mar Caribe (Conapesca, 2017).

Estado de las pesquerías

Conocer el estado que guardan las pesquerías brinda información importante para el manejo de los recursos pesqueros. Indirectamente, esta información también orienta acerca del estado de los ecosistemas marinos, en virtud de que las especies objetivo son parte importante de ellos: a mayor número de pesquerías en condición de sobreexplotación o deterioro, mayores podrían ser los daños en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas de los que forman parte, y esto tanto por sus efectos sobre las especies objetivo, como sobre las que se capturan incidentalmente.

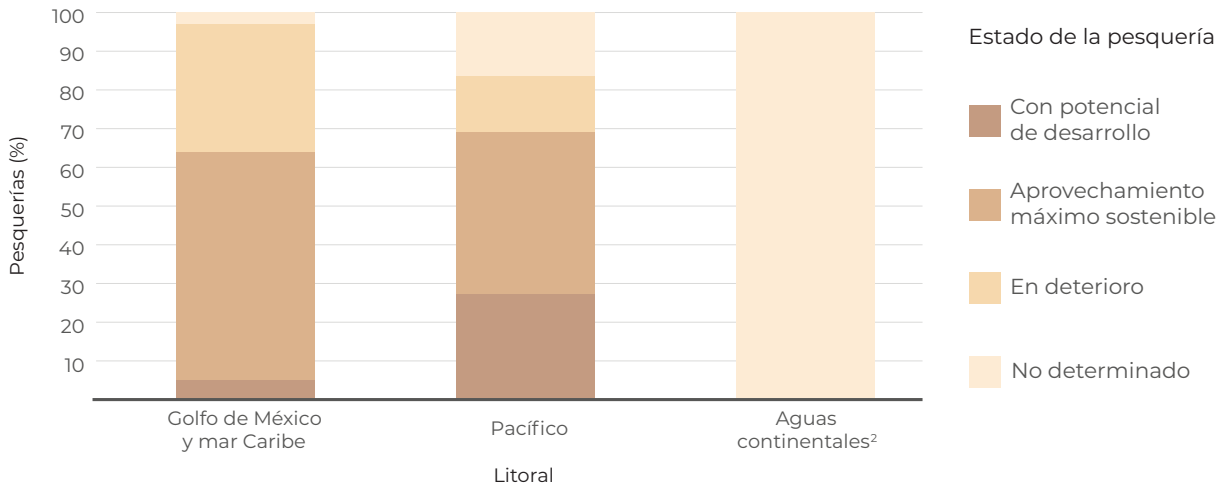
La información más reciente sobre el estado de las pesquerías nacionales se reporta en la Carta Nacional Pesquera publicada en 2018 (DOF, 2018). Según dicha fuente, en 2015 en el litoral del Pacífico el 42% de las pesquerías se encontraban en aprovechamiento máximo, el 15% en deterioro y el 27% mostraba potencial de desarrollo, mientras que para el 16% restante no se determinó su estado (Figura 6.32). En el litoral del Golfo de México y mar Caribe, 58% de las pesquerías se reportaban en aprovechamiento máximo sostenible, 33% en deterioro, 6% presentó potencial de desarrollo y en el 3% de las pesquerías no se determinó su estado. En el caso de los cuerpos de agua continentales, la Carta Nacional Pesquera no determina la situación de la sustentabilidad de los recursos pesqueros (DOF, 2018; IB 8-5).

Otro indicador útil para evaluar el estado de las pesquerías de una región o país es el rendimiento pesquero. Éste se calcula comparando la captura obtenida a través de un esfuerzo pesquero³⁶ particular respecto a un año usado como estándar (FAO, 2000).

³⁵ Dentro de la categoría escama se incluyen todas aquellas embarcaciones que se dedican a la captura de especies cuya producción de manera individual no tiene una participación destacada en el volumen de la producción pesquera nacional.

³⁶ La captura, esfuerzo y densidad de población son variables relacionadas entre sí. La captura por operación es proporcional a la densidad de la población, a su vez el número de operaciones es proporcional a la mortalidad causada: $CO = \delta * \Delta F * A / S$ donde CO es la captura por operación, δ es una constante, ΔF es el esfuerzo de pesca ejercido por unidad de operación, A es la abundancia media de la población y S es el área habitada por la población. En este sentido, el coeficiente de mortalidad por pesca sería proporcional a la intensidad de pesca cuando ésta es definida como el esfuerzo pesquero por unidad de área y por unidad de tiempo ($F\Delta = \delta * I / S * \Delta F$) (FAO, 1971; FAO, 2003).

Figura 6.32 Estado de sustentabilidad de los recursos pesqueros en México,^{1,2} 2018



Notas:

- ¹ Los porcentajes están calculados hasta 2015 y con respecto al total de grupos o especies por litoral.
- ² Los datos para las aguas continentales no se refieren a especies o grupos de especies, sino a cuerpos de agua.

Fuente:

DOF. *Carta Nacional Pesquera 2017*. Diario Oficial de la Federación. DOF. México. 2018 (11 de junio).

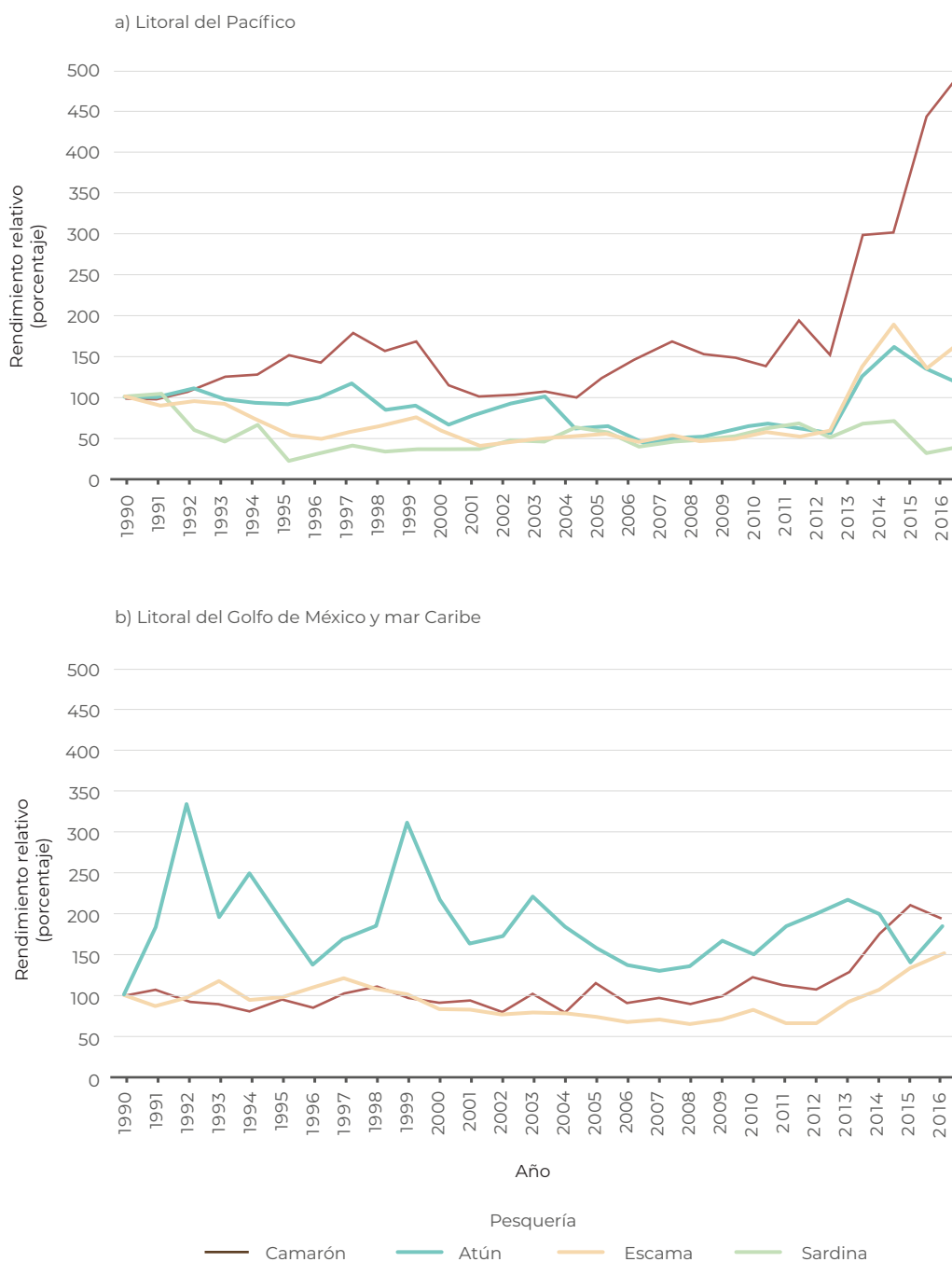
En el caso del litoral del Pacífico, el rendimiento pesquero de las pesquerías de atún y escama mostraron una tendencia decreciente entre 1990 y 2012, después de lo cual han mostrado una recuperación entre 2013 y 2014. En el año 2016 sus rendimientos fueron de 116 y 166%, con respecto al año 1990. La pesquería de camarón ha mostrado importantes fluctuaciones desde 1990: a partir de 2012 el rendimiento ha tenido un aumento substancial y en 2014 alcanzó un rendimiento de 493%. En el caso de la sardina-anchoveta, el rendimiento desde 1990 se ha mantenido por debajo del 100%, con un valor promedio para el periodo 1990-2016 de alrededor del 52% (Figura 6.33a; IB 8-4).

En el litoral del Golfo de México y el Caribe, el rendimiento pesquero del atún ha estado, a pesar de fuertes oscilaciones, por arriba del 100%; su valor promedio de rendimiento en el periodo 1990-2016 fue de 186% (Figura 6.33b; IB 8-4). En el caso de la pesquería de escama y de camarón, sus valores de rendimiento han oscilado por debajo del 100% entre 1990 y el año 2012, para mostrar una recuperación entre este último año y 2016 (Figura 6.33b).

Otros impactos de la pesca

El aprovechamiento pesquero puede tener impactos no solo en las especies objetivo, sino también sobre otras especies asociadas a ellas o que se encuentran presentes en los ecosistemas en los que se realizan las capturas. Este efecto, denominado “captura incidental”, se deriva básicamente de la falta de selectividad de las artes pesqueras, lo que produce que organismos de especies sin interés comercial (que pueden ser mamíferos, peces, reptiles e invertebrados) sean capturados y mueran sin ser aprovechados, afectando con ello sus poblaciones silvestres.

Figura 6.33 Producción pesquera promedio según origen,¹ 1990 - 2016



Notas:

¹ Año base de estimación: 1990.

² El rendimiento relativo de la pesquería de la sardina en el litoral del Golfo y el Caribe no se pudo calcular debido a que los datos del número de embarcaciones de la pesquería en diversos años están incompletos.

Fuentes:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE). Conapesca, Sagarpa. México. Junio de 2017.

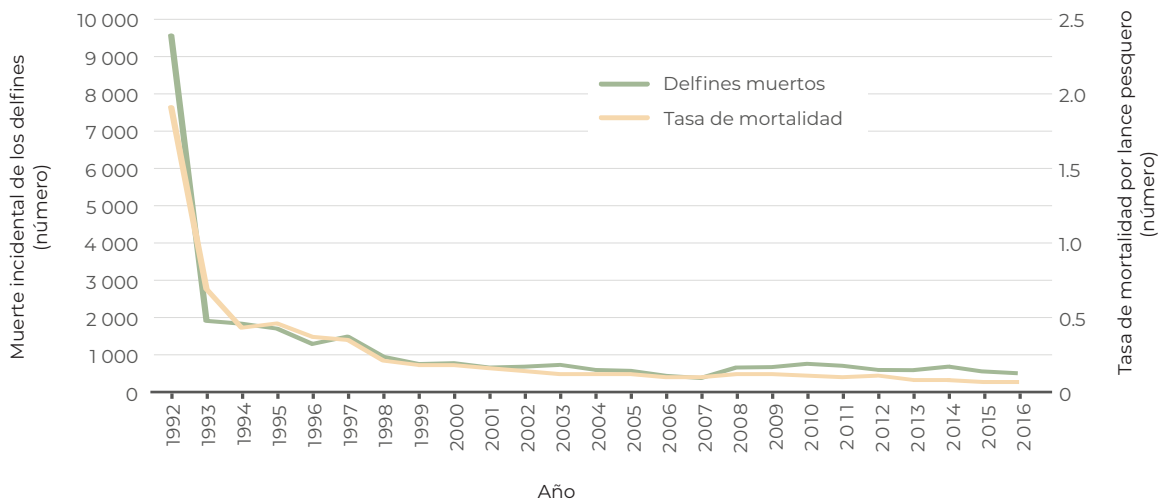
Sagarpa. Anuarios Estadísticos de Pesca 2000-2002. Sagarpa. México. 2001-2003.

Sagarpa. Anuarios Estadísticos de Acuicultura y Pesca 2003-2013. Sagarpa. México. 2005-2014.

Semarnap. Anuario Estadístico de Pesca 1997-1999. Semarnap. México. 1998-2000.

Uno de los casos más graves de captura incidental es el de la mortalidad de delfines asociada a la pesquería del atún. Desde 1991, esta pesquería ha estado sujeta a supervisión en México con el objetivo de asegurar la reducción de la captura incidental de estos mamíferos (Conapesca, 2004; Conapesca, 2011). Para ello se instrumentaron dos programas de monitoreo que han reducido significativamente su mortalidad: mientras que en 1992 murieron 9 562 animales, en 2016 esta cifra se redujo a 467 (Figura 6.34; IB 6.4.1-6); en términos de su tasa de mortalidad, ésta disminuyó de 1.91 a 0.07 delfines muertos por lance pesquero en ese período de tiempo.

Figura 6.34 Muerte incidental de delfines por la pesquería de atún en México,¹ 1992 - 2016



Nota:

¹ En mayo de 1991 se creó el Programa Nacional para el Aprovechamiento del Atún y Protección de los Delfines, y a partir de ese año iniciaron los trabajos de investigación y desarrollo que generan este tipo de información, así como las actividades del programa para la protección de los delfines.

Fuente:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación (DGPPE). Sagarpa, Conapesca. México. Junio de 2017.

La pesca incidental también es una de las principales causas de mortalidad entre las tortugas marinas. En México, las pesquerías que producían mayor impacto negativo eran las de camarón y la de tiburón, y en menor medida, la pesca de atún con redes de enmalle y palangre (Márquez-Millán *et al.*, 2014). Para atender esta problemática, el gobierno federal a través de diferentes instituciones como la Semarnat, Profepa, Conabio, Sagarpa, Conapesca y otras ha puesto en marcha programas cuyo objetivo es la protección, conservación y recuperación de las poblaciones de las tortugas marinas. En este sentido, en el marco de los programas binacionales Mexus-Golfo y Mexus-Pacífico, el personal del Programa Nacional de Investigación en Tortugas Marinas participó desde 1977 hasta 2001 en reuniones para establecer y regular el uso de los dispositivos excluidores de tortugas (DET)³⁷ en las redes camaroneras, así como otros aspectos de la captura incidental de tortugas marinas.

³⁷ Los DET son aditamentos que se incluyen en las redes de arrastre de camarón de la flota mexicana mayor, su propósito es que cualquier ejemplar de tortuga marina que entre en las redes tenga la posibilidad de liberarse y de no morir por ahogamiento. La construcción y uso de los DET está descrita en la NOM-061-PESC-2006 (DOF, 2007b). Corresponde a la Profepa su verificación y certificación.

A partir del 1 de abril de 1993 se decretó el uso de los DET en la costa atlántica mexicana (DOF, 1993) y desde el primero abril de 1996 en el Pacífico (DOF, 1996). Para adaptar estos artefactos a las necesidades de los pescadores mexicanos se realizaron seminarios y talleres en los que la Semarnat y el Instituto Nacional de Pesca participaron. Aunado a ello, se organizó un programa de observadores a bordo de algunas embarcaciones para evaluar el uso de estos instrumentos, así como sistemas de rastreo satelital para determinar las áreas de pesca. En 2010 se pretendía cubrir 50% de los viajes con 60 observadores (Márquez-Millán *et al.*, 2014).

Investigadores del Instituto Nacional de Pesca han experimentado con diferentes tipos de anzuelos y carnadas para reducir la captura incidental de tortuga; algunos resultados han mostrado que los anzuelos circulares permiten liberar a las tortugas con daños mínimos (a diferencia de los rectos) debido a que no se enganchan en la garganta (Santana-Hernández y Valdez, 2004). Desde el año 2000 se han realizado talleres auspiciados por la Conapesca, el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas (NMFS, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos y la Semarnat para fomentar el uso de anzuelos circulares en las flotas palangreras³⁸ de tiburón y otros peces pelágicos mayores. El Instituto Nacional de Pesca también participo en la elaboración de la NOM-029-PESC-2006 (DOF, 2007a y 2007b) que regula la pesca de tiburón.

De acuerdo con el Informe de Actividades de Profepa 2015 y 2016 en los meses de enero-abril de 2016 (correspondientes a la temporada de pesca de camarón 2015-2016) se certificaron³⁹ 24 embarcaciones en el uso de los DET. Para la temporada de pesca 2016-2017, se certificaron 1 117 embarcaciones camaroneras.

A pesar de los esfuerzos del gobierno federal y de la sociedad civil para conservar y proteger a las tortugas marinas, algunos estudios muestran que la pesca a pequeña escala⁴⁰ es hoy en día una de las principales causas de mortalidad incidental de tortugas marinas en México (Peckham *et al.*, 2007) y en otras partes del mundo (Wallace *et al.*, 2013).

La totoaba (*Totoaba macdonaldi*) es otra de las especies afectadas por la sobrepesca y la captura ilegal. Esta especie alguna vez fue abundante, sin embargo, su población empezó a reducirse a partir de los años cuarenta: en el año 1929 la captura comercial ascendía a 500 toneladas, en 1942 ascendió a 2 261 toneladas para después caer a niveles muy bajos en las décadas de los cincuenta y setenta. En el año de 1975 la captura de totoaba fue de solo 58 toneladas, esto

³⁸ Esta técnica es utilizada para capturar peces pelágicos mayores (tiburones, atunes y picudos, entre otros) y es común que algunas tortugas de talla pequeña o en estado juvenil (se ha observado en especies como *Lepidochelys olivacea* y *Chelonia mydas*) se enganchen en los anzuelos y se ahoguen, o queden tan lastimadas que la probabilidad de que sobrevivan es mínima (Santana-Hernández y Valdez, 2004).

³⁹ La certificación consiste en la verificación del cumplimiento de las especificaciones descritas en la NOM-061-PESC-2006 (DOF, 2007b) en todas las embarcaciones camaroneras y la expedición de un certificado por embarcación que haya cumplido con la legislación vigente.

⁴⁰ La pesca a pequeña escala incluye la pesca artesanal, tradicional y de subsistencia. Este tipo de pesca ocurre en aguas de la costa, principalmente en países en vías de desarrollo. No se tiene un registro exacto de la cantidad de embarcaciones o de la captura por operación. Hasta el año 2000 se tenía un estimado de que alrededor del 99% de los pescadores del mundo (aproximadamente 51 millones) practicaban este tipo de pesca (ver Peckham *et al.*, 2007).

llevó al gobierno mexicano a instalar la veda indefinida y permanente de la pesca de dicha especie. Algunos estudios (Profepa, 2018) determinaron que la población de esta especie era de alrededor de 2 300 individuos en 1991, con una densidad de juveniles de alrededor de 11 individuos por kilómetro cuadrado en 1989 y 1990; a la fecha se desconoce el estatus de la población (IUCN, 2018). En 1991 la totoaba se declara oficialmente en peligro de extinción, y en la Norma Oficial NOM-059-SEMARNAT-2010 se encuentra en la categoría “En peligro de extinción” (P), también se encuentra en el Apéndice I de la CITES y en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN bajo la categoría “En peligro crítico de extinción” (Profepa, 2018). La protección y conservación de la totoaba va de la mano con la protección de la vaquita marina (*Phocoena sinus*), pues uno de los factores que daña de forma colateral a la vaquita marina es la captura (mediante el uso de redes de pesca ilegal) de totoaba y de otras especies (Profepa, 2018, para mayores detalles de la vaquita marina ver recuadro [Una especie en peligro de extinción: la vaquita marina](#), en el capítulo [Biodiversidad](#)).

REFERENCIAS

Aquastat-FAO. *Sistema de información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO*. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Fecha de consulta: agosto de 2018.

Cofepris. Normas oficiales mexicanas, agua. Disponible en: <http://transparencia.cofepris.gob.mx/index.php/es/transparencia/marco-juridico/normas-oficiales-mexicanas/agua>. Fecha de consulta: julio de 2018.

Conagua. *Atlas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015a.

Conagua. *Atlas del Agua en México. Edición 2016*. Conagua, Semarnat. México. 2016a.

Conagua. *Atlas del Agua en México. Edición 2017*. Conagua, Semarnat. México. 2017a.

Conagua. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2015*. Conagua, Semarnat. México. 2015b.

Conagua. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2016*. Conagua, Semarnat. México. 2016b.

Conagua. *Estadísticas del Agua en México. Edición 2017*. Conagua, Semarnat. México. 2017b.

Conagua. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 1998*. Conagua, Semarnat. México. 1998.

Conagua. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2016*. Conagua, Semarnat. México. 2016c.

Conagua. *Situación del Subsector de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Edición 2017*. Conagua, Semarnat. México. 2017c.

Conapesca. *Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones, Rayas y Especies Afines en México, Mazatlán*. Conapesca, Sagarpa. México. 2004.

Conapesca. *Programa de Ordenamiento Pesquero del Atún Aleta Amarilla en el Pacífico Mexicano*. Sagarpa. Conapesca. México. 2011.

Conapesca. *La pesca y acuacultura en cifras 2013*. Conapesca, Sagarpa. México. 2014.

Conapesca. *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Edición 2017*. Conapesca, Sagarpa. México. 2017.

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1993, Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos*. México. 1993 (31 de diciembre).

DOF. *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM 012-SSA1-1993, Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados*. México. 1994 (12 de agosto).

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-PESC-1996, Por la que se establece el uso obligatorio de dispositivos excluidores de tortugas marinas en redes de arrastre durante las operaciones de pesca del camarón en el Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California*. México. 1996 (28 de agosto).

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*. México. 1997 (06 de enero).

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado*. México. 1998a (03 de junio).

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público*. México. 1998b (21 de septiembre).

DOF. *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. México. 2000 (20 de junio).

DOF. *Norma oficial Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la NMX-AA-028-1981)*. México. 2001 (17 de abril).

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento*. México. 2007a (14 de enero).

DOF. *Norma Oficial Mexicana NOM-061-PESC-2006, Especificaciones técnicas de los excluidores de tortugas marinas utilizados por la flota de arrastre camaronesa en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos*. México. 2007b (22 de enero).

DOF. *Norma oficial Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012. Análisis de agua – Medición de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, método de prueba- parte 1- método de reflujó abierto (cancela a la NMX-AA-030-SCF-2001)*. México. 2013 (25 de mayo).

DOF. *Norma oficial Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua – Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la NMX-AA-034-SCFI-2001)*. México. 2015 (16 de octubre).

DOF. *Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación*. México. 2018 (11 de junio).

Duffy, J.E. El futuro de los recursos pesqueros marinos. 2010. Disponible en: <http://www.actionbioscience.org/esp/ambiente/duffy.html>. Fecha de consulta: agosto de 2018.

FAO. *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. FAO. España. 1971.

FAO. *Indicadores para el desarrollo sostenible de la pesca de captura marina. Orientaciones Técnicas para la Pesca Responsable 8*. FAO. Roma. 2000.

FAO. *Fish stock assessment manual*. Fisheries Technical Paper 393. FAO. Roma. 2003.

FAO. *El estado mundial de la pesca y acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. FAO. Roma. 2016.

Fisher, J., J. Jorgensen, H. Josupeit, D. Kalikoski et al. (eds.). *Fischer´s Knowledge and The Ecosystem Approach to Fisheries. Applications, experiences and lessons in Latin America*. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 591. FAO. Roma. 2015.

FNUAP. *El estado de la población mundial 2001. Huellas e hitos: población y cambio del medio ambiente*. Fondo de las Naciones Unidas para la Población (FNUAP). Paraguay. 2001.

Gómez-Sandoval, L., R. Páez y A. Flores-Díaz. Comportamiento de los sólidos en suspensión y sedimentables en cuerpos de agua: búsqueda de métodos aplicables al monitoreo comunitario. En: *Memorias del Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. UNAM, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. México. 2013.

ICOLD. *Comité Mexicano de Grandes Presas*. https://www.icold-cigb.org/GB/icold/member_countries.asp?ID=56. Fecha de consulta: agosto de 2018.

IMTA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de planta potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*. IMTA, Conagua. México. 2007.

INEGI. *Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015 Estados Unidos Mexicanos*. INEGI. México. 2015.

INEGI. *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2017*. INEGI. México. 2017.

INEGI. *PIB y Cuentas Nacionales. PIB trimestral Tabulados*. INEGI. México. 2018a.

INEGI. *Sistema de Cuentas Nacionales*. INEGI. México. 2018b.

IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species. Totoaba macdonaldi*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T22003A9346099.en>. Fecha de consulta: agosto de 2018.

Jiménez-Cisneros, B., J.C. Durán-Álvarez y J.M. Méndez-Contreras. Calidad. En: Jiménez-Cisneros, B., M.L. Torregrosa y L. Aboites (eds.). *El Agua en México: cauces y encauces*. AMC, Conagua. México. 2010.

Larrea-Murrell, J.A, M.M. Rojas-Badía, B. Romeu-Álvarez, N.M. Rojas-Hernández y M. Heydrich-Pérez. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *CENIC Ciencias Biológicas* 44(3): 24-34. 2013.

Laureano-Nieves, K. *La calidad ambiental en las playas de Manzanillo, Colima*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Marinas. Universidad de Colima. México. 2005.

Márquez-Millán, R., M.C. Jiménez-Quiroz, C. Peñaflores-Salazar et al. Programa Nacional de Investigación de Tortugas Marinas. INP-Conapesca (eds.). En: Márquez-Millán, R. y M. Garduño-Dionate. *Tortugas Marinas*. INP. México. 2014.

OMS. *Programas y proyectos. Agua, saneamiento y salud*. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/. Fecha de consulta: agosto de 2018.

Peckham, S.H, D.M. Diaz, A. Walli et al. Small-Scale Fisheries Bycatch Jeopardizes Endangered Pacific Loggerhead Turtles. *PLoS ONE* 2(10). 2007. e1041. doi: 10.1371/journal.pone.0001041

Peters, E., J. Campoy F. y K. Flessa (Eds.). *Ciénega de Santa Clara*. Comprehensive Monitoring Program. INE. México. 2009.

Profepa. *El alto golfo de California. Los esfuerzos para la protección de la vaquita marina y la totoaba*. Profepa, Semarnat. México. 2018.

Santana-Hernández, H y J. Valdéz-Flores. *Efectos sobre la selectividad y eficiencia de los palangres de deriva, obtenidos mediante la experimentación con tres tipos de anzuelo y dos tipos de carnada*. Informe técnico (Documento interno). INP. México. 2004.

Siacon. *Sistema de información agroalimentaria de consulta*. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>. Fecha de consulta: julio de 2018.

SINA. *Sistema Nacional de Información del Agua*. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>. Fecha de consulta: agosto de 2018.

UNDP-UNEP-WB-WRI. *World Resources 2000–2001: People and Ecosystems: The Fraying Web of Life*. WRI. Estados Unidos de América. 2000.

UNEP-GEMS. *Water Quality Outlook*. UNEP-GEMS. Canadá. 2007.

UNICEF-WHO. *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 updates and SDG baselines*. Suiza. 2017.

Vázquez-León, C.I. *Administración pesquera y desarrollo sustentable en México*. Comercio Exterior. México. 1998.

Wallace, B.P., C.Y. Kot, A.D. DiMatteo *et al.* Impacts of fisheries bycatch on marine turtle populations worldwide: toward conservation and research priorities. *Ecosphere* 4(3): 1-49. 2013. <http://dx.doi.org/10.1890/ES12-00388.1>.

Wong, I. y G. Barrera. Niveles de contaminación microbiológica en el Golfo de México. En: Botello, A.V., J.L. Rojas, J. Benítez y D. Zárate (eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. *EPOMEX Serie Científica* 5. Universidad Autónoma de Campeche. México. 1996.