

The background consists of several large, semi-transparent, organic shapes in shades of light blue and white. These shapes overlap each other, creating a sense of depth and fluidity. The overall effect is minimalist and modern.

AGUA

AGUA

El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales. En las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente. Otro problema importante relacionado con la posibilidad de utilizar el agua es su grado de contaminación, ya que si no tiene la calidad adecuada puede agravar el problema de la escasez. Las aguas de los cuerpos superficiales y subterráneos se contaminan por las descargas sin tratamiento previo, de aguas municipales e industriales, así como por los arrastres que provienen de las zonas que practican actividades agrícolas y pecuarias.

Aun cuando el tema del agua se ha centrado principalmente en las necesidades humanas, es indispensable destacar su importancia como elemento clave para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad. Sin el agua que garantice su función y mantenimiento, los ecosistemas naturales se degradan, pierden su biodiversidad y con ello dejan de proveer o reducen la calidad de los bienes y servicios ambientales que sostienen a las sociedades.

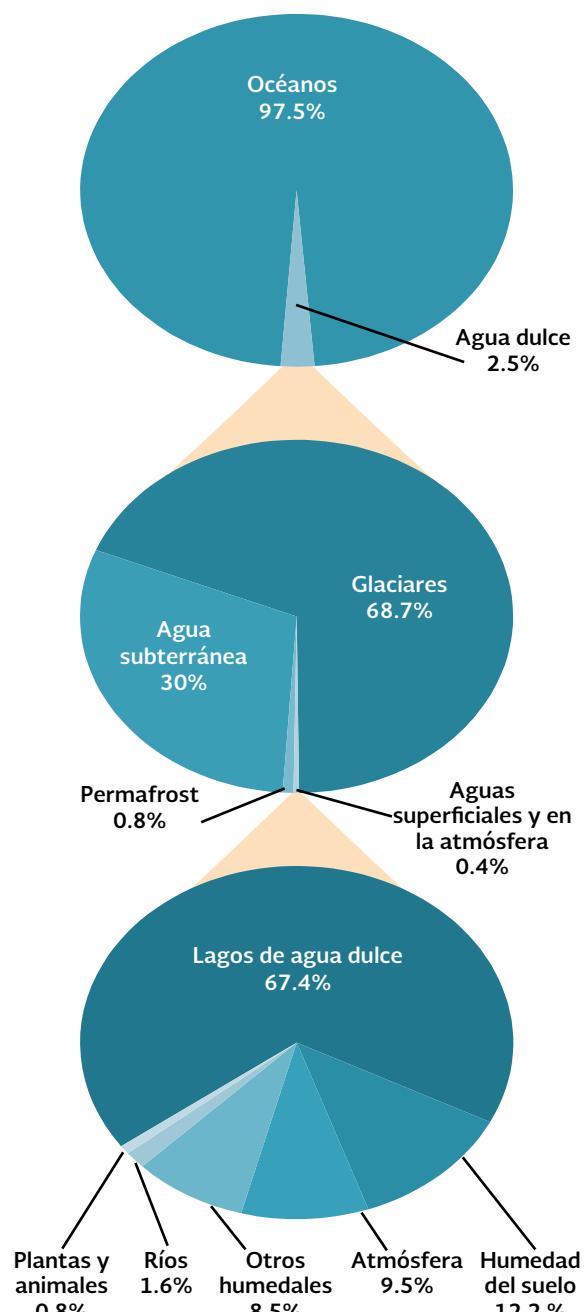
EL AGUA DULCE EN EL MUNDO

RESERVAS DE AGUA DULCE

Se ha estimado que existen alrededor de 1 400 millones de kilómetros cúbicos de agua en el planeta, de los cuales sólo 2.5% corresponden a agua dulce (PNUMA, 2007). Este pequeño porcentaje se localiza principalmente en los ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos del mundo (Figura 6.1). Casi tres cuartas partes del agua dulce están contenidas en los glaciares y mantos de hielo, de los cuales alrededor de 97% son prácticamente inaccesibles para su uso, ya que se encuentran en Antártica, el Ártico y Groenlandia. Sin embargo, muchos de los glaciares continentales, así como el hielo y las nieves perpetuas de volcanes y cadenas montañosas constituyen una fuente importante de recursos hídricos para muchos países.

Distribución mundial del agua

Figura 6.1



Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO4 medio ambiente para el desarrollo.* Dinamarca. 2007.

Del agua dulce existente en el planeta 30% corresponde a agua subterránea, 0.8 a Permafrost¹ y sólo el 0.4% a aguas superficiales y en la atmósfera. Si consideramos al agua dulce no congelada (31.2% del volumen de agua dulce total), la subterránea representa el 96%, agua que además resulta importante como abastecimiento para arroyos, manantiales y humedales, así como un recurso fundamental para satisfacer las demandas de agua de muchas sociedades en el mundo. Mientras que las aguas superficiales (lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) sólo retienen el uno por ciento del agua dulce no congelada; dentro de ellos, 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. Aunque el agua presente en la atmósfera equivale a un volumen significativamente menor a la que se encuentra en los lagos, es muy importante por su papel en la regulación del clima.

DISPONIBILIDAD DEL AGUA

RESERVAS REGIONALES DE AGUA Y BALANCE DE AGUA NACIONAL

Las reservas de agua en el mundo consideran el volumen disponible² total acumulado de agua subterránea y superficial. En el Mapa 6.1 se presentan los volúmenes de las reservas de agua mundiales: Suramérica es la región con los mayores recursos hídricos renovables³ del planeta (cerca del 31.8% del total), seguida por Asia (28.9%) y Europa (13.9%); en contraste, la región de Centroamérica posee tan sólo el 1.5% de la reserva total mundial.

La disponibilidad del agua de una región o país depende del balance de agua, esto es, del volumen que se recibe por precipitación y de lo que se pierde por la evaporación de los cuerpos de agua y por la evapotranspiración

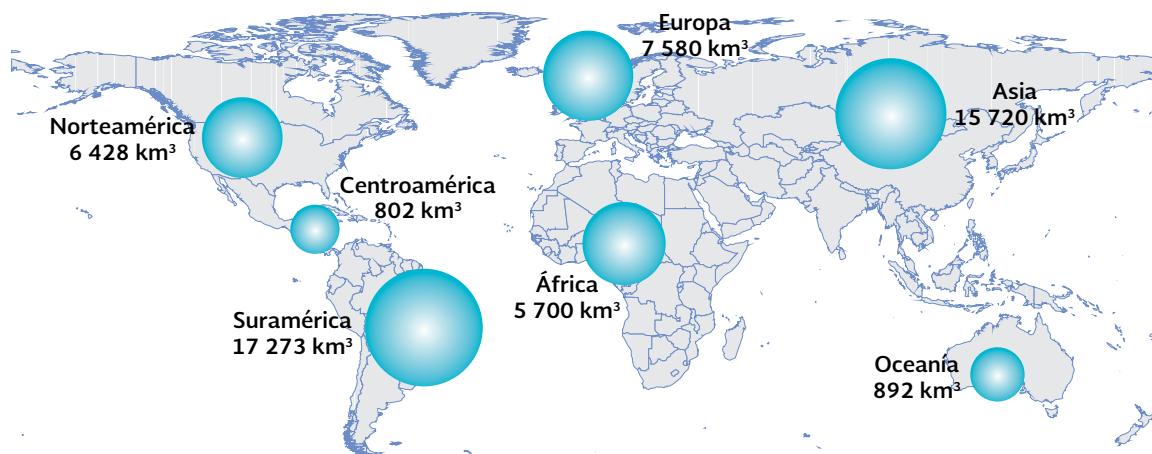
¹ La International Permafrost Association (IPA) lo define como suelo frío que permanece por debajo de los 0°C por 2 o más años consecutivos (van Everdingen, 1998). De acuerdo con la IPA, permafrost no es sinónimo de suelo congelado sino de "cryptic ground", es decir, de suelo que tiende a formar hielo, pero que no necesariamente lo tiene (Milana y Güel, 2008).

² Se refiere a la disponibilidad natural media que corresponde al volumen total de agua renovable superficial y subterránea que ocurre en forma natural en una región.

³ El agua renovable es la cantidad máxima de agua factible de explotarse anualmente y se calcula como el escurrimiento superficial virgen anual, más la recarga media anual de los acuíferos, más las importaciones de agua de otras regiones o países, menos las exportaciones de agua a otras regiones o países (Conagua, 2011).

Reservas de agua dulce en el mundo por región¹

Mapa 6.1



Nota:

¹ Para algunas regiones los valores no comprenden al 100% de los países que las conforman: África (98% de los países); Centroamérica (81% de los países); Europa (85% de los países) y Oceanía (31% de los países).

Fuente:

FAO-Aquastat. 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/data/. Fecha de consulta: octubre de 2012.

de la vegetación. El volumen restante puede dirigirse hacia la recarga de los acuíferos o escurrir superficialmente. Debido a que la distribución de la precipitación y de la evapotranspiración varía notablemente, la disponibilidad de recursos hídricos muestra diferencias muy importantes en las diferentes regiones del planeta.

En México, el volumen promedio de agua que se obtiene por precipitación cada año es de 1 489 kilómetros cúbicos; no obstante, la mayor parte, alrededor de 1 089 kilómetros cúbicos (73.1%), regresa a la atmósfera por evapotranspiración, por lo que se conoce como “agua verde” (Falkenmark y Rockström, 2004; *Cuadro D3_AGUA01_04*). Además del agua que ingresa por precipitación, México recibe alrededor de 50 kilómetros cúbicos por importaciones de los ríos de las fronteras norte y sur y exporta 0.432 kilómetros cúbicos del río Bravo a los Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales firmado en 1944. De esta forma, el balance general muestra que la

disponibilidad natural media de México es de 460 kilómetros cúbicos de agua en promedio al año (Figura 6.2), valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara con el de Estados Unidos (3 051 km³), Canadá (2 902 km³) o Brasil (8 233 km³; FAO, 2007).

VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL EN LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA

En México, la precipitación normal⁴ para el periodo 1981-2010 fue de 935.7 milímetros, volumen que se considera abundante (Conagua, 2011). Sin embargo, resulta poco representativo de la situación hídrica a lo largo del país. Por ejemplo, en 2011, Baja California Sur apenas registró poco más 70 milímetros de lluvia, mientras que en Chiapas y Tabasco la precipitación anual alcanzó los 2 373 y 2 478 milímetros, respectivamente (*Cuadro D3_AGUA01_01*). A nivel de las regiones hidrológico-administrativas⁵ en que se divide el país, las diferencias también son

⁴ Es la precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo.

⁵ Desde 1997, y con el fin de administrar y preservar las aguas nacionales, la Conagua dividió al país en 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA) cuyos límites respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica (Conagua, 2011).

notables: durante el periodo 1981-2010, las regiones norteñas, Península de Baja California, Noroeste, Río Bravo y Cuenca Centrales del Norte, que ocupan el 47.6% del territorio nacional recibieron en conjunto 13.4% del total, mientras que las regiones Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur y Península de Yucatán, ubicadas al sur del país y que ocupan 21.5% del territorio nacional, recibieron el 53.9% del total (Mapa 6.2; Cuadro D3_AGUA01_02; Tabla 6.1).

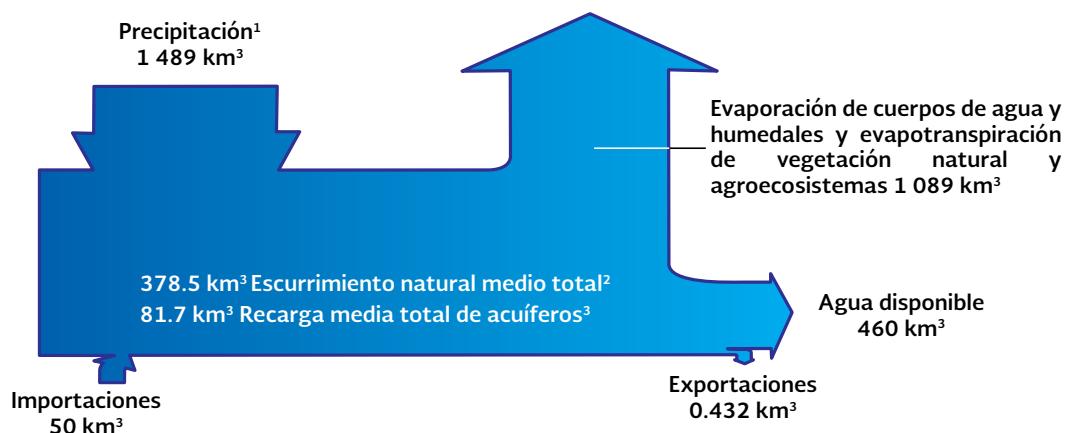
Con respecto al escurrimiento superficial nacional, en 2009 el 83% (378.5 km³) del volumen disponible en el país escurrió superficialmente y el restante 17% (81.7 km³) se incorporó a los acuíferos (Figura 6.2). Sin embargo, el escurrimiento superficial también muestra variaciones importantes en la geografía del país: en ese mismo año, en la región Frontera Sur escurrió cerca del 37% del total nacional (básicamente a través de los ríos Grijalva y Usumacinta), mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán el escurrimiento superficial fue cercano al

uno por ciento del valor nacional (Tabla 6.2; 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. Si se considera la proporción de lo que escurre con respecto al agua disponible, en 2009 las regiones que mostraron el mayor escurrimiento superficial relativo fueron Pacífico Sur (93.8%), Golfo Norte (94.8%) y Golfo Centro (95.6%). En contraste, la proporción fue menor en las regiones Río Bravo (42.4%), Aguas del Valle de México (33.4%) y Península de Yucatán (14.6%).

También la disponibilidad natural media es heterogénea entre regiones hidrológico-administrativas: mientras que Frontera Sur contaba en 2010 con casi 160 kilómetros cúbicos anuales y el Golfo Centro con poco más de 94, la Península de Baja California tuvo apenas 5 y la región Aguas del Valle de México sólo 3.5 kilómetros cúbicos al año disponibles (Tabla 6.2).

Balance de agua en México

Figura 6.2



Notas:

¹ La precipitación media anual se refiere al periodo 1971-2000. Los valores restantes son los reportados al 2009.

² Comprende el escurrimiento natural medio superficial más las importaciones, menos las exportaciones procedentes de otros países.

³ La recarga natural de acuíferos reportada, más 9 km³ de recarga incidental conforman la recarga media total. Se entiende por recarga incidental aquella que es consecuencia de alguna actividad humana como riego de jardines, fugas de agua en redes de distribución y alcantarillado, descargas de fosas sépticas e infiltraciones en canales de tierra y otros; que no cuenta con la infraestructura específica para la recarga artificial.

Fuentes:

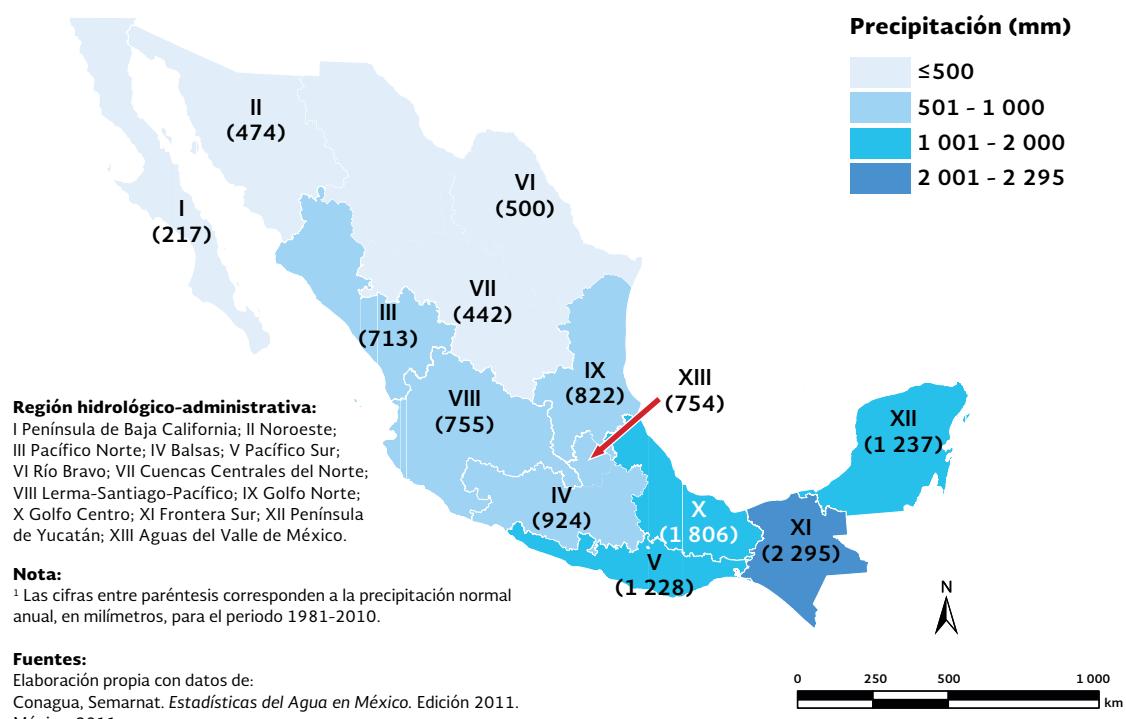
Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. México. 2011.

DOF. Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial con agua residual tratada. 2009 (18 de agosto).

Precipitación normal anual por región hidrológico-administrativa 1981 - 2010¹

Mapa 6.2



Precipitación y superficie de las regiones hidrológico-administrativas, 1981 - 2010

Tabla 6.1

Región hidrológico-administrativa	Superficie		Precipitación normal ¹ (mm) 1981-2010
	(km ²)	(%)	
I Baja California	145 489	7.43	217.2
II Noroeste	205 291	10.48	473.7
III Pacífico Norte	151 934	7.75	713.3
IV Balsas	119 219	6.08	924.2
V Pacífico Sur	77 087	3.93	1 228.0
VI Río Bravo	379 604	19.38	500.2
VII Cuenca Central del Norte	202 385	10.33	441.6
VIII Lerma-Santiago- Pacífico	190 438	9.72	754.6
IX Golfo Norte	127 138	6.49	822.5
X Golfo Centro	104 631	5.34	1 806.0
XI Frontera Sur	101 813	5.20	2 295.4
XII Península de Yucatán	137 795	7.04	1 237.5
XIII Aguas del Valle de México	16 424	0.84	753.7
Nacional	1 959 248	100	935.7

Nota:

¹ Precipitación normal es la precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Edición 2011. México. 2011.

Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

Disponibilidad natural media, escurrimiento superficial y recarga de agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2010

Tabla 6.2

Región hidrológico-administrativa		Escurrimiento natural medio superficial total ² (km ³ /año)	Recarga media total de acuíferos (km ³ /año)	Disponibilidad natural media total (km ³ /año)
I	Península de Baja California	3.43	1.59	5.02
II	Noroeste	5.07	3.16	8.23
III	Pacífico Norte	22.65	3.27	25.92
IV	Balsas	17.06	4.94	21.99
V	Pacífico Sur	30.80	1.88	32.68
VI	Río Bravo	6.86	6.17	13.02
VII	Cuencas Centrales del Norte	5.75	2.42	8.16
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	26.01	8.34	34.35
IX	Golfo Norte	24.74	1.86	26.60
X	Golfo Centro	89.83	4.26	94.09
XI	Frontera Sur	141.39	18.02	159.40
XII	Península de Yucatán	4.28	25.32	29.60
XIII	Aguas del Valle de México	1.17	2.34	3.52
Nacional¹		379.04³	83.55	462.58

Notas:

¹ Los totales nacionales pueden no coincidir con las sumas de las regiones por efectos del redondeo de las cifras.

² Se conforma por el escurrimiento natural medio superficial interno más las importaciones, menos las exportaciones procedentes de otros países.

³ Se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2012*. México. 2012.

Con respecto a la variabilidad temporal, la precipitación también muestra diferencias importantes. En 2010, el valor de precipitación nacional fue 17.5% superior al promedio del periodo 1981-2010 (935.7 mm), mientras que en los años 1982, 1988, 1995, 1996, 2009 y 2011 estuvo por debajo de dicho promedio (Figura 6.3; ver el Recuadro *Fenómenos meteorológicos extremos: el caso de la sequía*). En cuanto a la variación de la precipitación a lo largo del año, los mayores volúmenes ocurren generalmente durante el verano (Figura 6.4), mientras que la época de estiaje se prolonga, en la mayoría del país, entre los meses de noviembre y mayo.

AGUA ALMACENADA

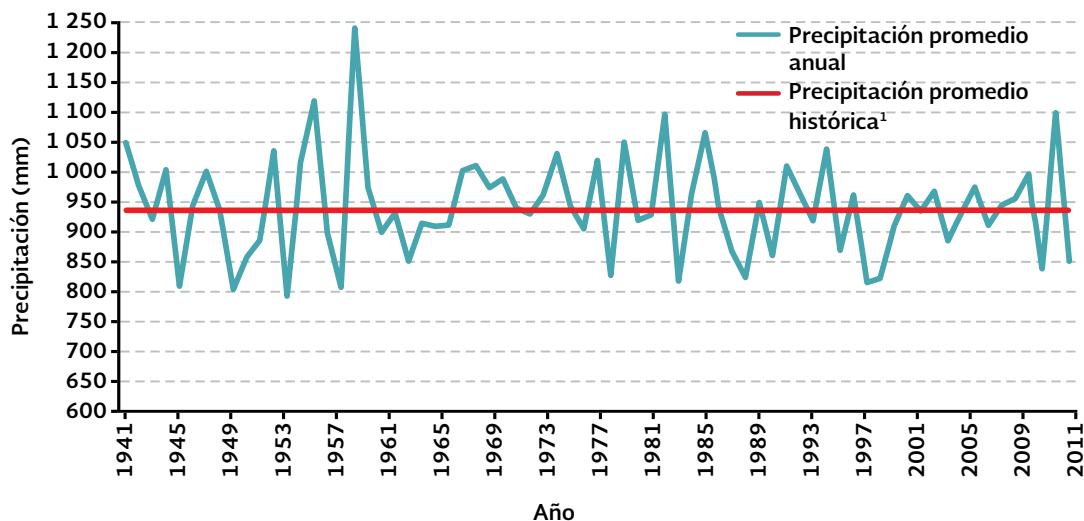
El volumen de agua almacenado en los lagos del país (alrededor de 10 km³) es relativamente pequeño si se contrasta con lo que se utiliza sólo para el abastecimiento público nacional

anual, que equivale a cerca de 11 kilómetros cúbicos (*Cuadro D3_AGUA01_06*). Esto se debe, básicamente, a que la orografía mexicana no permite la formación de lagos profundos. Por esa razón, para asegurar el suministro del líquido para los diferentes usos en todo el país, y considerando la heterogeneidad espacial y temporal en la precipitación, se ha construido una importante red de infraestructura hidráulica en forma de presas y embalses. Con excepción de la Península de Yucatán, donde no hay corrientes de agua superficiales que permitan la construcción de este tipo de infraestructura, el resto de las regiones hidrológico-administrativas cuentan con presas. La mayoría de los ríos más caudalosos se encuentran parcial o totalmente regulados mediante presas de propósitos múltiples.

En el país existen 4 462 presas y bordos, las cuales representan una capacidad total de almacenamiento de alrededor de 150

Precipitación promedio anual, 1941 - 2011

Figura 6.3



Nota:

¹ La precipitación promedio histórica (935.7 mm) corresponde al periodo 1981-2010 .

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

kilómetros cúbicos. De ese número, 667 presas se clasifican como grandes presas debido a que su capacidad de almacenamiento es mayor a un hectómetro cúbico. El volumen almacenado de agua en las presas no sólo depende de su capacidad de construcción, sino también de la precipitación ocurrida en sus cuencas de captación y de los escurrimientos en las distintas regiones del país: por ejemplo, en 2010 se pudo almacenar en las 51 presas principales⁶ (y más grandes) del país un volumen de 102.1 kilómetros cúbicos, es decir, cerca del 91% de su capacidad total de almacenamiento; en un año seco, por ejemplo 1996, este volumen tan sólo alcanzó cerca de 80 kilómetros cúbicos, es decir, 71% de la capacidad de dichas presas. En el Mapa 6.3 se muestran las 51 presas principales ([Cuadro D3_AGUA01_07](#); [IB 2.1-9](#)).

Con respecto al uso de las presas en el país, 41 de las 51 presas más grandes suministran agua para riego (beneficiando a 6.5 millones de hectáreas de agricultura de riego y 2.9 millones

de temporal tecnificado), mientras que nueve de ellas se destinan al abastecimiento público. Treinta y tres grandes presas tienen más de un uso, entre los que pueden estar la generación de electricidad, irrigación, control de avenidas y abastecimiento público. En la Tabla 6.3 se presentan para las 51 principales presas del país, sus usos y la capacidad al nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO⁷).

DISPONIBILIDAD PER CÁPITA

Otra forma de evaluar la disponibilidad del agua es a través de la estimación del volumen de agua que le corresponde a cada habitante ([IB 2.1-5](#)). Este indicador ha sido empleado comúnmente como una medida del posible estrés que pueden enfrentar los habitantes de una región o país dado. Una disponibilidad inferior a los 1 700 metros cúbicos por habitante por año se considera como una situación de estrés hídrico (Indicador de Falkenmark; UNDP et al., 2000), en la cual con frecuencia puede ocurrir el desabasto

⁶ Presas con capacidad mayor a 250 hm³.

⁷ El nivel de aguas máximas ordinarias es el volumen de almacenamiento de una presa en su máximo nivel para operar y satisfacer las demandas.

Todos los años en diferentes regiones del planeta se presentan fenómenos hidrometeorológicos extremos que pueden tener, en algunos casos, impactos sociales, económicos y ambientales muy importantes. Entre ellos destacan por sus efectos en la pérdida de la productividad de las tierras y de la provisión de servicios ambientales las sequías, que son fenómenos que se presentan de manera natural cuando la precipitación ha sido significativamente menor a los niveles normales, y que ocasiona serios desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente los sistemas ecológicos y productivos (UNCCD, 1996). A diferencia de la aridez, que es una condición natural permanente per se de una región, la sequía se considera como una condición climática temporal. Es importante mencionar que este fenómeno, además de sus consecuencias inmediatas, puede traer consigo efectos futuros como resultado de la aceleración de los procesos de desertificación y de la degradación de las tierras de los sitios donde se presenta (Nkonya et al., 2011; ver en el capítulo *Suelos* la sección *El problema de la desertificación*).

En un estudio publicado por Below y colaboradores en 2007, con base en los datos de un periodo de 105 años (entre 1900 y 2004), detectaron la ocurrencia de 392 eventos de sequía en el mundo, es decir, cerca de 4 eventos en promedio por año. De todas las regiones, África fue el continente más

propenso a sufrirlos, con el 35% del total de los eventos del periodo, seguido por Asia y el Medio Oriente (29%) y por el continente americano (23%). Como resultado de todos los eventos de sequía en el periodo, un total de 12 millones de personas perdieron la vida, 1 873 millones resultaron afectadas y las pérdidas económicas se calcularon en 78.9 miles de millones de dólares.

En el caso de México, durante el siglo XX se presentaron cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996 (Cenapred, SEGOB, 2001), así como una sequía severa en 1998, las cuales afectaron principalmente a los estados del norte del país. Recientemente se han registrado severos periodos de sequía entre 2000 y 2003, en 2009, y entre 2011 y 2012. Entre los años 2000 y 2003, 18 estados sufrieron por la sequía, de los cuales Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, Veracruz y Sonora fueron los más afectados (Cenapred, SEGOB, 2001, 2002, 2003 y 2004). De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), se estima que las pérdidas económicas a nivel nacional ascendieron a más de 1 800 millones de pesos, además de que casi un millón de hectáreas de cultivo fueron afectadas y se perdieron más de 13 mil cabezas de ganado.

En 2009, la sequía fue el segundo fenómeno hidrometeorológico que causó mayores pérdidas en el país: 152 333 personas resultaron afectadas, los daños ascendieron a 3 081 millones de pesos

Fenómenos meteorológicos extremos: el caso de la sequía (continúa)

y la superficie afectada de cultivos y pastizales fue de 384 540 hectáreas. Las entidades con mayor superficie afectada fueron Baja California, Chihuahua, Coahuila, Zacatecas, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo y Yucatán. Desde el 2011 el país enfrenta una fuerte sequía (clasificada según el NADM¹ de intensidad severa a excepcional), cuya afectación ha sido de 130 millones de hectáreas (más del 60% del territorio nacional), de las cuales 77 millones fueron clasificadas como de sequía extrema. Las entidades más afectadas han sido Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Guanajuato, Michoacán y Distrito Federal (Mapa a).

Referencias:

Below, R., E. Grover-Kopec and M. Dilley. Documenting Drought-Related Disasters: A Global Reassessment. *The Journal of Environment and Development* 16: 328–344. 2007.

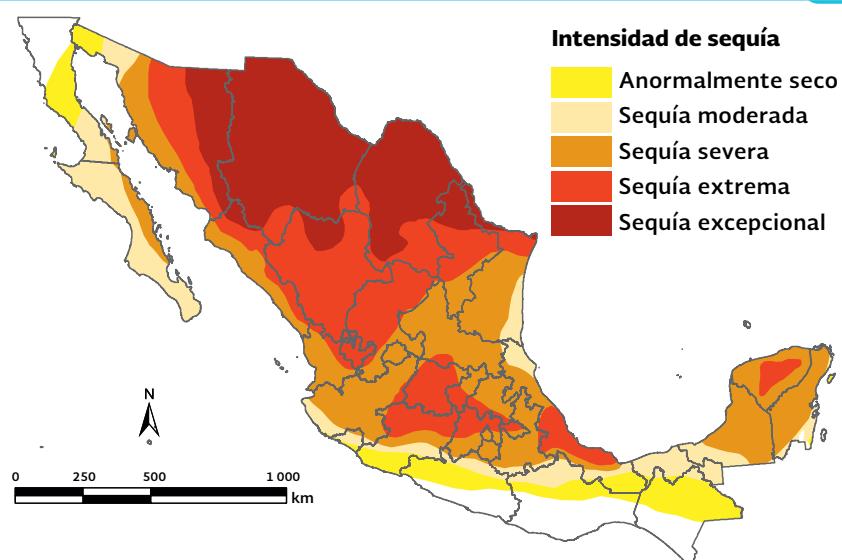
Cenapred. SEGOB. 2000. Serie “Impacto socioeconómico de los desastres naturales”. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2001.

Cenapred. SEGOB. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2001*. Serie “Impacto socioeconómico de los desastres naturales”. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2002.

Cenapred. SEGOB. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002*. Serie “Impacto socioeconómico de los desastres naturales”. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2003.

Áreas afectadas por las diversas intensidades de sequía, junio de 2011

Mapa a



Fuente:

Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

¹ Monitor de Sequía de América del Norte (por sus siglas en inglés).

Recuadro

Fenómenos meteorológicos extremos: el caso de la sequía (conclusión)

Cenapred. SEGOB. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2003.* Serie “Impacto socioeconómico de los desastres naturales”. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2004.

García Jiménez F., M. Fuentes, O., M. Ramírez, L. Guadalupe. *Sequías. Reseña Histórica de Sequías en México.* Fascículo Sequías. CENAPRED. Secretaría de Gobernación. México. 2007.

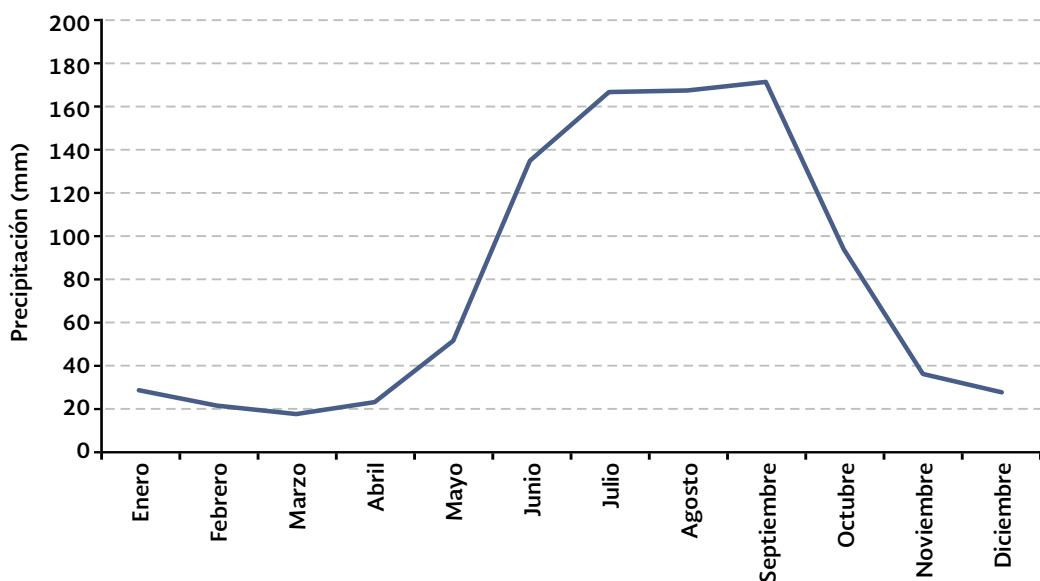
NADM. *Monitor de Sequía de América del Norte.* Disponible en: www.ncdc.noaa.gov/nadm.html. Fecha de consulta: octubre de 2012.

Nkonya, E., N. Gerber, P. Baumgartner, J. von Braun, A. De Pinto, V. Graw, E. Kato, J. Kloos and T. Walter. *The Economics of Desertification, Land Degradation, and Drought Toward an Integrated Global Assessment.* ZEF-Discussion Papers on Development Policy No. 150. Center for Development Research. Bonn. 2011.

UNCCD. *United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa.* 1996. Disponible en www.unccd.int/convention/text/convention.php. Fecha de consulta: octubre de 2012.

Precipitación media mensual, 1981 - 2010

Figura 6.4



Fuente:

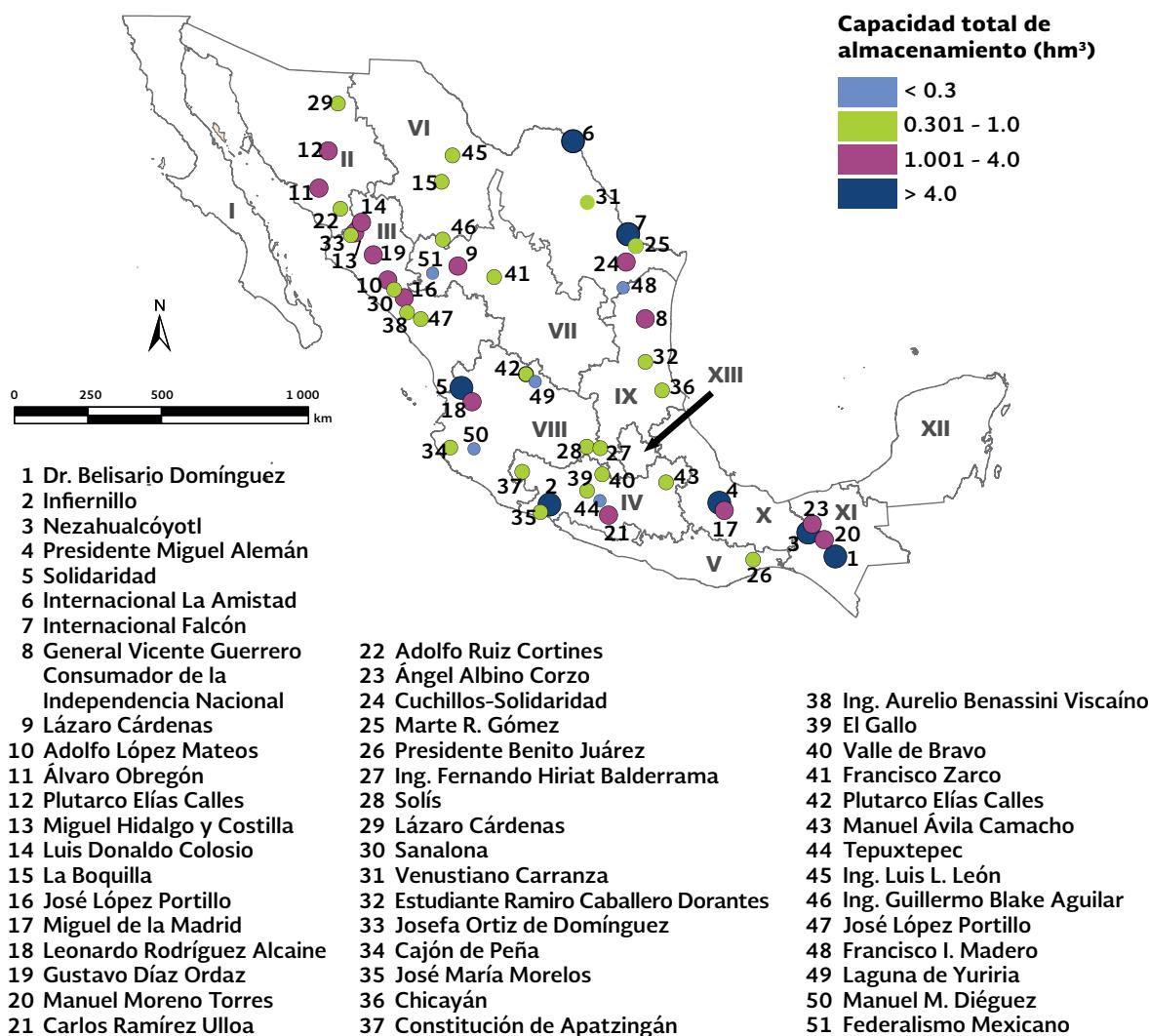
Elaboración propia con datos de:
Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

de agua para las diversas actividades que la consumen, sobre todo en países con propensión a sufrir sequías, como es el caso de México. Cuando la disponibilidad es inferior a los mil metros cúbicos por habitante por año

las consecuencias pueden ser más severas y comprometer seriamente la seguridad alimentaria y el desarrollo económico del país. Por lo común, en esas circunstancias se carece transitoriamente de agua en algunos

Principales presas¹ en México por capacidad de almacenamiento, 2010

Mapa 6.3



Nota:

¹ Sólo se incluyen las 51 presas principales con capacidad >250 hm³. En 2012 se puso en operación la Presa Picachos, en el municipio de Mazatlán, Sinaloa (RHA III), con una capacidad de 322 hm³.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. Atlas del Agua en México 2012. México 2012.

lugares y es preciso tomar decisiones que involucran prioridades de uso entre las actividades agrícolas, industriales o el abasto a la población urbana y rural (FNUAP, 2001). Es importante mencionar que las variaciones que se observan en la disponibilidad per cápita a través del tiempo dependen principalmente de los cambios en el tamaño de la población del país o región para el cual se calcula, y no de una disminución de la precipitación en el año considerado.

A nivel mundial, la disponibilidad per cápita ha disminuido significativamente en unas cuantas décadas. En 1960, a cada ciudadano del mundo le correspondían 11 300 metros cúbicos por año (MEA, 2005), los cuales se redujeron a sólo 5 mil metros cúbicos para el 2010, cuando la población mundial fue de aproximadamente 6 900 millones de personas (FAO, 2012).

En México la disponibilidad también se ha reducido de manera importante: en 1950, era

Principales presas del país¹: capacidad de almacenamiento y usos

Tabla 6.3

No.	Nombre oficial	Región hidrológico administrativa (RHA) ²	Capacidad NAMO ³ (km ³)	Usos ⁴
1	Dr. Belisario Domínguez	XI	12.76	G
2	Infiernillo	IV	12.50	G y C
3	Nezahualcóyotl	XI	10.60	G, I y C
4	Presidente Miguel Alemán	X	8.12	G, I y C
5	Aguamilpa Solidaridad	VIII	5.54	G e I
6	Internacional La Amistad	VI	4.46	G, I, A y C
7	Internacional Falcón	VI	4.38	G, I, A y C
8	General Vicente Guerrero Consumidor de la Independencia Nacional	IX	3.91	I y A
9	Adolfo López Mateos	III	3.09	G e I
10	Álvaro Obregón	II	2.99	G, I y A
11	Plutarco Elías Calles	II	2.96	G e I
12	Miguel Hidalgo y Costilla	III	2.92	G e I
13	Luis Donaldo Colosio	III	2.91	G e I
14	Lázaro Cárdenas	VII	2.87	I, G
15	José López Portillo	III	2.80	G e I
16	Miguel de la Madrid	X	2.60	I
17	Leonardo Rodríguez Alcaine	VIII	2.28	G
18	José López Portillo	III	2.25	G e I
19	Gustavo Díaz Ordaz	III	1.86	G
20	Ing. Carlos Ramírez Ulloa	IV	1.74	G
21	Manuel Moreno Torres	XI	1.63	G
22	Cuchillo-Solidaridad	VI	1.12	A e I
23	Adolfo Ruíz Cortines	II	1.11	G, I y A
24	Angel Albino Corso	XI	1.09	G
25	Ing. Marte R. Gómez	VI	1.00	I
26	Presidente Benito Juárez	V	0.96	I
27	Ing. Fernando Hiriart Balderrama	IX	0.93	G
28	Solís	VIII	0.87	I y C
29	Lázaro Cárdenas	II	0.86	I y A
30	Sanalona	III	0.85	G, I y A
31	Venustiano Carranza	VI	0.61	I, A y C
32	Estudiante Ramiro Caballero Dorantes	IX	0.57	I
33	Josefa Ortiz de Domínguez	III	0.51	I
34	Cajón de Peña	VIII	0.51	I y A
35	José María Morelos	IV	0.51	G e I
36	Chicayán	IX	0.47	I
37	Constitución de Apatzingán	IV	0.45	I y C
38	Francisco I. Madero	VI	0.43	I y C
39	Ing. Aurelio Benassini Viscaíno	III	0.42	I y C
40	El Gallo	IV	0.41	I
41	Manuel Ávila Camacho	IV	0.40	I

Principales presas del país¹: capacidad de almacenamiento y usos (conclusión)

Tabla 6.3

No.	Nombre oficial	Región Hidrológico Administrativa ² (RHA)	Capacidad NAMO ³ (km ³)	Usos ⁴
42	Valle de Bravo	IV	0.39	A
43	Plutarco Elías Calles	VIII	0.34	I
44	Tepuxtepec	VIII	0.32	G e I
45	Francisco Zarco	VII	0.31	C e I
46	Ing. Luis L. León	VI	0.31	I y C
47	Ing. Guillermo Blake Aguilar	III	0.30	C e I
48	José López Portillo	VI	0.30	A e I
49	Laguna de Yuriria	VIII	0.29	I
50	Manuel M. Diéguez	VIII	0.26	G
51	Federalismo Mexicano	VI	0.26	I, A y C

Notas:

¹ Sólo se incluyen las 51 presas con mayor capacidad (>250 hm³). En 2012 se puso en operación la presa Picachos, en el municipio de Mazatlán, Sinaloa (RHA III), con una capacidad de 322 hm³.

² 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.

³ NAMO: Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. Es el volumen de almacenamiento de una presa en su máximo nivel para operar y satisfacer las demandas.

⁴ Abreviaturas de los usos: G= Generación de energía eléctrica, I= Irrigación, A= Uso para abastecimiento público, C= Control de avenidas.

Fuente:

Conagua, Semarnat. *Atlas del Agua en México 2012*. México. 2012.

de 17 742 metros cúbicos por año, pasando a poco menos de 11 mil en 1960 y a menos de 8 mil en 1970. En 2010, la disponibilidad por habitante fue de 4 090 metros cúbicos anuales (Conagua, 2012; **IB 2.1-1**), un volumen que de acuerdo al World Resources Institute (WRI) se considera como de disponibilidad baja. La disponibilidad de agua por habitante de México es mucho menor que la de países como Canadá (84 633 m³/hab/año), Panamá (42 577 m³/hab/año) o Estados Unidos (9 159 m³/hab/año), y en general de toda América del Sur, pero ligeramente superior al promedio de muchos de los países europeos (FAO, 2012). Para 2030 se proyecta que la disponibilidad de agua por habitante será de tan sólo 3 800 metros cúbicos por habitante por año (Conagua, 2011).

Los valores nacionales per cápita pueden enmascarar situaciones de estrés hídrico a nivel regional. México presenta todo el espectro de categorías de disponibilidad de agua en sus regiones hidrológico-administrativas, que van desde la muy alta, alta, media, baja, muy baja, hasta la extremadamente baja (menor

a 1 000 m³/hab/año; Conagua, 2011). Para ilustrar dicha heterogeneidad, las regiones Aguas del Valle de México y Frontera Sur son buenos ejemplos: mientras que la primera de ellas en 2010 tenía un disponibilidad de apenas 160 metros cúbicos por habitante por año (lo que la clasificaba en la categoría de disponibilidad de extremadamente baja), la región de la Frontera Sur registraba en el mismo año 22 393 metros cúbicos, es decir, una disponibilidad cerca de 140 veces mayor, clasificada como de muy alta disponibilidad (Mapa 6.4; [Cuadro D3_AGUA03_01](#)).

Si se considera a las regiones hidrológico-administrativas con disponibilidades muy bajas, resulta que más de 75 millones de habitantes en el país (alrededor del 66% de la población nacional) se encontraban en situación de estrés hídrico en 2010. En el futuro, la disponibilidad per cápita en algunas zonas del país podría agravarse significativamente: según un estudio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, por sus siglas en inglés), la disponibilidad de agua per cápita para el año 2025 en las cuencas de los ríos Balsas, Grande

de Santiago y Colorado podría caer por debajo de los 1 700 metros cúbicos por habitante por año (UNDP, 2000).

GRADO DE PRESIÓN

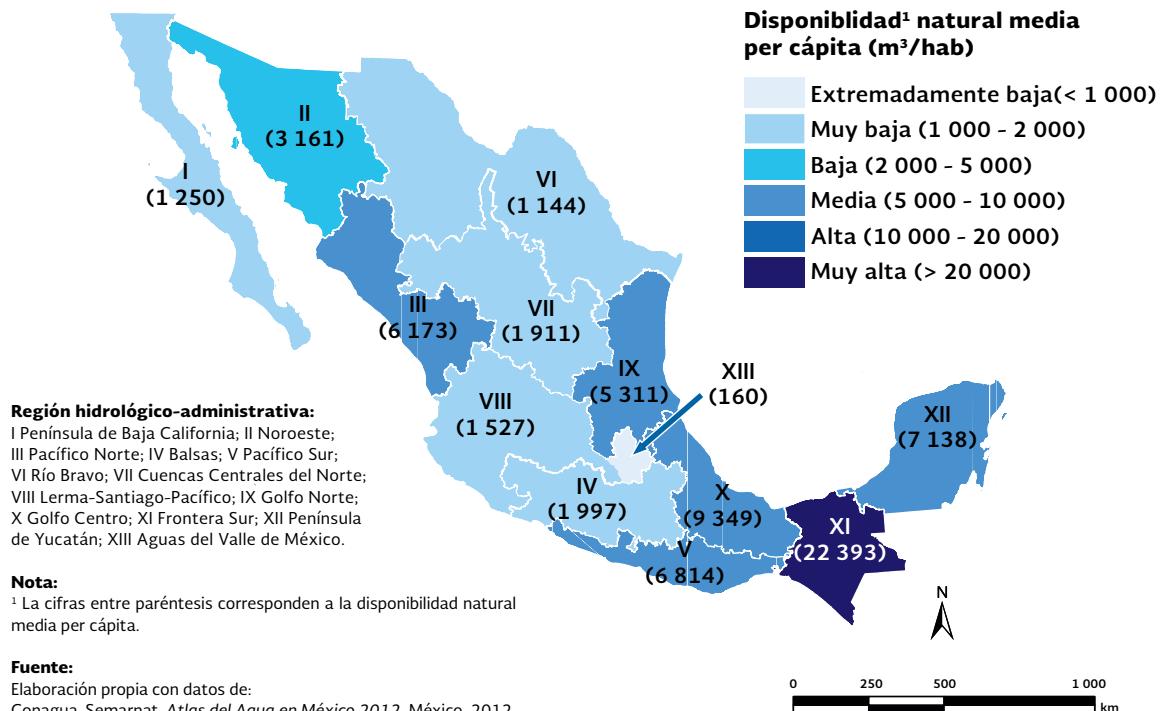
 El grado de presión sobre los recursos hídricos (GPRH; **IB 2.1-6 e IC 9**) representa la proporción del agua disponible que se extrae en una zona, ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales o de otros tipos, respecto al agua renovable. La Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS) de la ONU define cuatro categorías para clasificar el grado de presión, que van desde fuerte (la extracción supera el 40% de la disponibilidad natural) hasta escasa (el agua extraída no rebasa el 10% del líquido disponible). Algunos países de Medio Oriente (como los Emiratos Árabes y Kuwait), presentan un grado de presión que pudiera calificarse como extremo, ya que superan el 2 000%. México, con un valor estimado

de GPRH de 17.4% en 2010, se encuentra en la categoría de presión moderada, valor superior al 11.5% estimado como promedio para los países de la OCDE (FAO, 2012). No obstante, este valor está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, ya que en regiones como Frontera Sur, Golfo Centro, Península de Yucatán y Pacífico Sur se extrae menos del 8% del agua disponible. En contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Balsas y Lerma-Santiago-Pacífico, registran grados de presión superiores al 40% (Mapa 6.5). Caso particular es el de la región de Aguas del Valle de México, cuyo valor de presión sobre el recurso alcanzó 132.9% en ese mismo año.

Finalmente, otra medida de la disponibilidad del agua es la que se conoce como intensidad de uso (OCDE, 1998) o extracción per cápita. De acuerdo con este indicador, la extracción

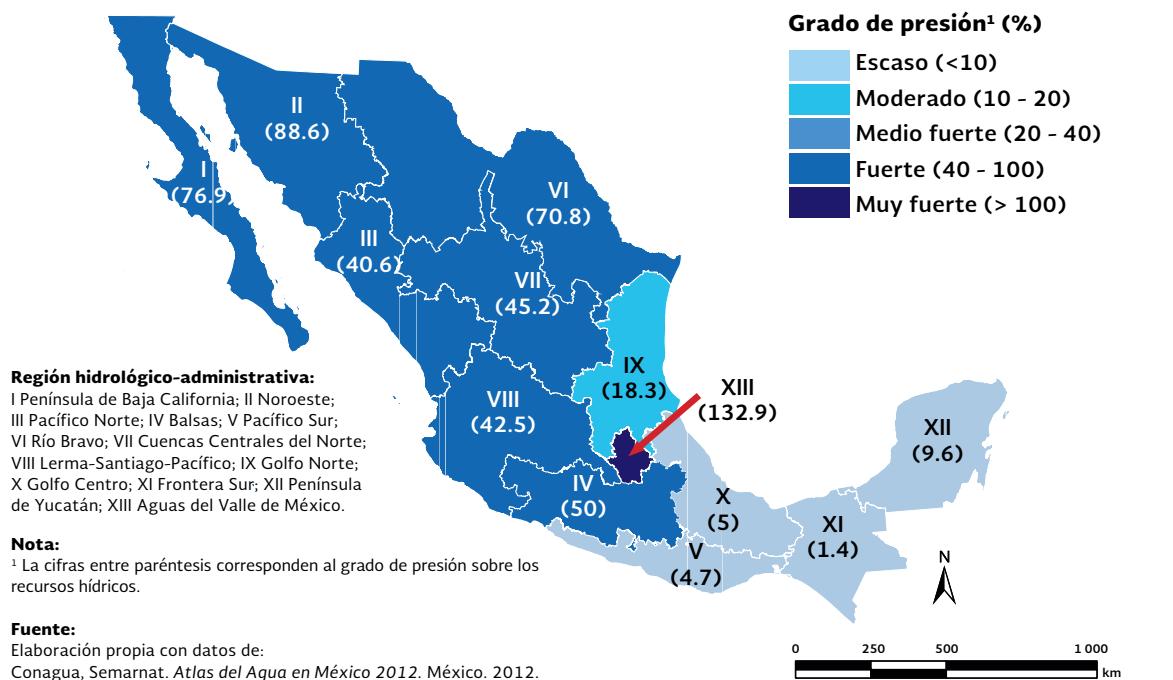
Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.4



Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.5



per cápita en México para 2010 fue de 709.9 metros cúbicos por habitante por año, valor muy semejante al de España (711 m³/hab) e inferior a los de Bulgaria (811 m³/hab), Filipinas (889 m³/hab), Pakistán (1 076 m³/hab) y al promedio de los países miembros de la OCDE, estimado en alrededor de 920 metros cúbicos por habitante al año (OECD, 2003; FAO, 2007).

EXTRACCIÓN Y USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

La extracción de agua dulce en el mundo ha crecido significativamente con objeto de abastecer a la agricultura, la generación de energía eléctrica y el consumo de una población cada vez más numerosa. A nivel mundial, el aumento en la extracción de agua fue de poco más de 50% en tan sólo 30 años, al pasar de 2 574 a 3 940 kilómetros cúbicos

entre 1970 y el año 2000 (UNEP, 2002). El caso de México no ha sido muy diferente: entre 2002 y 2010 el volumen concedido para los usos agropecuario, abastecimiento público e industrial se incrementó en casi 8 kilómetros cúbicos, pasando de 72.6 a 80.3 kilómetros cúbicos, lo que representa 17.4% del agua disponible (**IB 2.1-2**; ver también recuadro *Huella hídrica y agua virtual*).

Volumen concedido por uso consuntivo

La distribución del agua para los usos consuntivos difiere entre países y regiones en función de su disponibilidad, del tipo y capacidad de su industria y agricultura, así como de su población y sus patrones de consumo. En general, la distribución del agua en México⁸ para los diferentes usos consuntivos es similar a la que tienen países como Chipre

⁸ El Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) registra los volúmenes concedidos (o asignados, en el caso de volúmenes destinados al uso público urbano o doméstico) a los usuarios de aguas nacionales. También clasifica los usos del agua que, con fines prácticos, se han agrupado en cinco grupos: cuatro corresponden a los usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y generación de energía eléctrica), y por último está el uso hidroeléctrico, que corresponde a un uso no consuntivo (Conagua, 2011).

Recuadro

Huella hídrica y agua virtual

La huella hídrica se define como el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por los habitantes de un país (Chapagain y Hoekstra, 2004). Este concepto se introdujo con el fin de proporcionar información sobre cómo se usa el agua en la producción, y complementar así los indicadores tradicionales de uso del líquido por los diferentes sectores. Como indicador agregado muestra los requerimientos totales de agua de un país, y es una medida del impacto del consumo humano sobre los recursos hídricos. El concepto de huella hídrica está muy relacionado con el de agua virtual, que corresponde a la cantidad de agua utilizada durante el proceso de producción de un bien o servicio (Figura a).

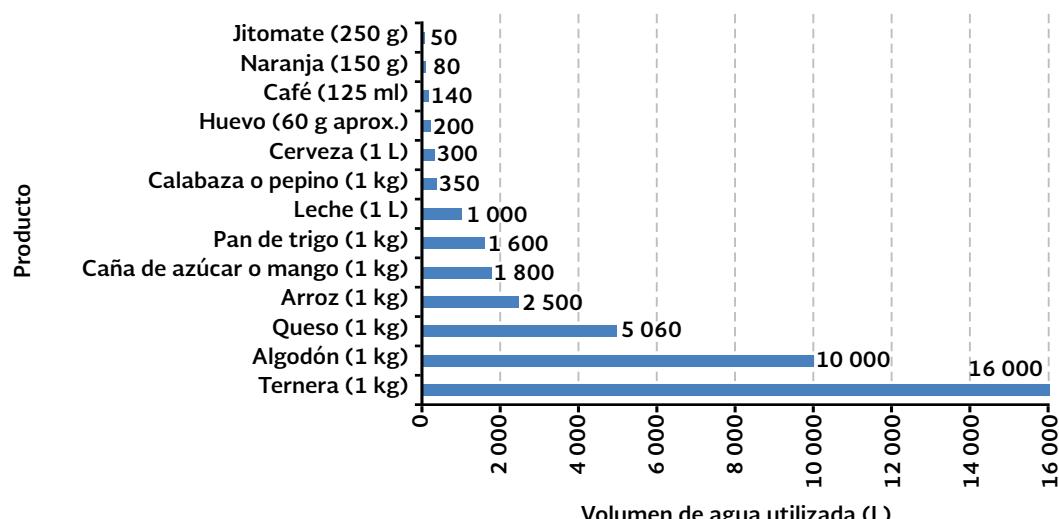
De acuerdo con Mekonnen y Hoekstra (2011), la huella hídrica tiene tres

componentes: azul, verde y gris. La huella azul se refiere al consumo de recursos hídricos superficiales y subterráneos que se evaporan o incorporan a un producto. La verde corresponde al volumen de agua de lluvia consumido, lo cual es particularmente relevante en la producción de cultivos de temporal. Finalmente, la huella gris es el volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes que se desechan en las aguas domésticas y en las residuales producto de las actividades industriales y agropecuarias.

A nivel global, en el periodo 1997-2001, 86% de la huella hídrica estuvo relacionada con el consumo de productos agrícolas, 10% con el consumo de bienes industriales y aproximadamente 4% con los usos domésticos (Chapagain y Hoekstra, 2004). Entre 1996 y 2005,

Cantidad de agua utilizada para producir algunos productos

Figura a



Fuente:

Water Footprint Network. Disponible en: www.huellahidrica.org/index.php?page=files/home. Fecha de consulta: octubre de 2012.

los países con la mayor huella hídrica a nivel mundial fueron China (1 207 Gm³/año¹), India (1 182) y el Reino Unido (1 053), que en conjunto sumaban aproximadamente el 38% de la huella hídrica mundial (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

La huella hídrica per cápita es el volumen total de agua utilizado para producir los bienes y servicios que un individuo consume. Se obtiene multiplicando todos los bienes y servicios consumidos por un habitante promedio por su respectivo contenido virtual de agua. Los principales factores que determinan la huella hídrica per cápita son: 1) el consumo de agua promedio por persona; 2) los hábitos de consumo de sus habitantes; 3) el clima, en particular la evaporación, que determina las condiciones de cultivo; y 4) la eficiencia de uso de agua en la producción agrícola e industrial.

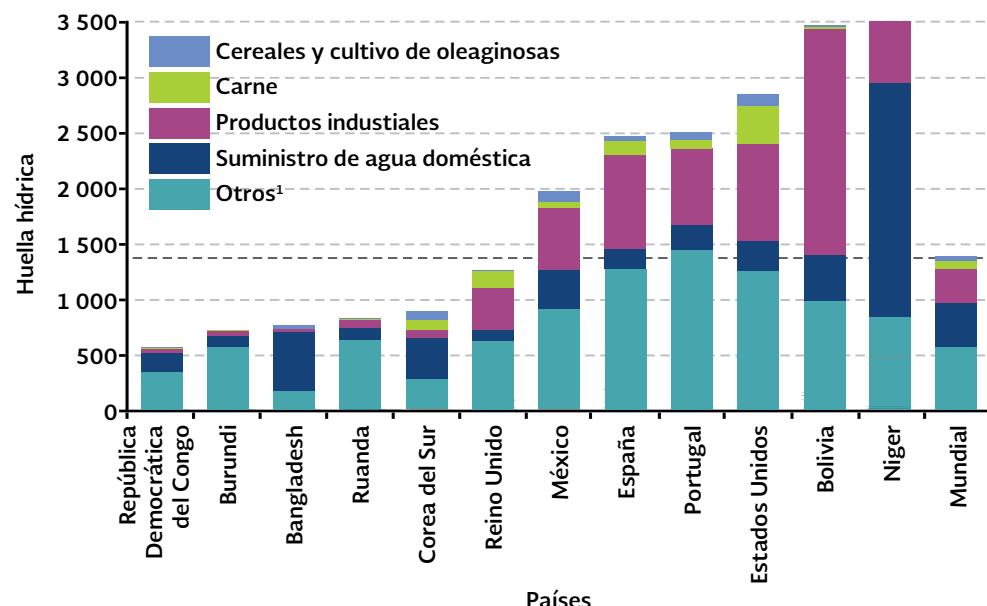
En los países desarrollados, donde el nivel de consumo de bienes y servicios es elevado, la huella hídrica per cápita es alta, debido en parte, al alto consumo de carne y de productos industrializados. Entre 1996 y el año 2005, los países industrializados alcanzaron una huella hídrica per cápita de entre 1 250 y 2 850 m³/año, con el Reino Unido en el extremo inferior del intervalo y Estados Unidos en el extremo superior. Por su parte, los países en vías de desarrollo, aun cuando pueden tener un consumo cárneo relativamente menor que los países industrializados, pueden registrar altas huellas hídricas per cápita como resultado de una baja

eficiencia en el uso del agua y de las condiciones de cultivo desfavorables. Prueba de ello es que los países que alcanzaron la mayor huella hídrica per cápita, en ese mismo periodo, fueron Mongolia (3 775 m³/año), Niger (3 519) y Bolivia (3 468; Figura b y Mapa 1). En el caso de México, su huella hídrica per cápita registrada en el mismo periodo fue de 1 978 m³/año por habitante, lo que la hace 42% superior al promedio mundial.

Si se analiza la huella hídrica por sector, entre 1996-2005 la huella promedio global anual relacionada con la agricultura, la producción industrial y el suministro de agua para uso doméstico fue de 9 087 Gm³/año (74% correspondiendo a la huella verde, 11% a la azul y 15% a la gris). De este valor global, el 92% correspondió a la producción agrícola, 4.4% a la producción industrial y 3.6% al uso doméstico.

El hecho de que muchos de los productos que se consumen en un país pueden producirse en otra nación significa que la demanda real de agua de un país con frecuencia es diferente de lo que sugieren las extracciones nacionales. Los países con gran desarrollo económico pueden hacer uso, mediante la importación de productos, de los recursos hídricos de muchos otros países, con lo cual además reducen la presión sobre sus propios recursos hídricos. La huella hídrica de un país tiene, por tanto, componentes internos y externos. La huella hídrica interna es el volumen utilizado de recursos hídricos del país, mientras que la externa corresponde

¹ 1Gm³ = 1 Gigametro cúbico = mil millones de metros cúbicos.

Huella hídrica nacional por categoría de productos, 1996 - 2005**Figura b****Nota:**

¹ Vino, cerveza, grasa animal, tubérculos, aceites vegetales, fibras, leche, azúcar, vegetales, tabaco, huevo, frutos, caucho, pieles, legumbres, café, té, cacao, nueces y especias.

Fuente:

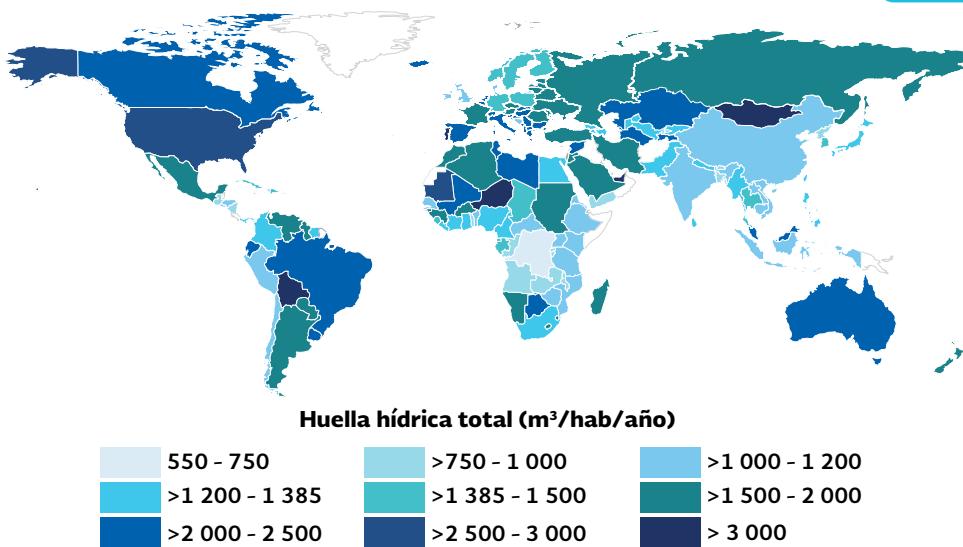
Mekonnen, M.M. y A.Y. Hoekstra. *National Water Footprint Accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE, Delft the Netherlands. 2011.

al volumen de agua utilizada en otros países para producir los bienes y servicios importados y consumidos.

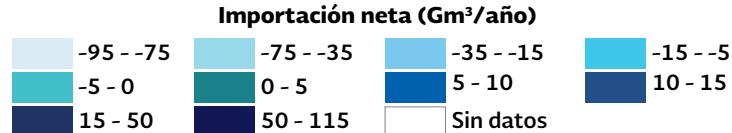
Los mayores países exportadores de agua virtual en el mundo son, en América del Norte y del Sur: Estados Unidos, Canadá, Brasil y Argentina; en el sur de Asia: India, Pakistán, Indonesia y Tailandia; y Australia. En el otro extremo, la mayor red virtual de importadores de agua la forman los países del norte de África y el Medio Oriente, México, Europa, Japón y Corea del Sur (Mapa 2). México se sitúa en el sexto lugar mundial de los países

importadores de agua virtual, con una importación neta de 92 Gm³/año, lo cual reduce su demanda de agua comparada con lo que se necesitaría si tuviera que producir la cantidad total de productos (principalmente agrícolas) para satisfacer la demanda de la población mexicana (Chapagain *et al.*, 2006).

Los productos con gran participación en los flujos de agua virtual global son los cereales (17% del flujo total de agua virtual internacional), productos industriales (12.2%), café, té y cacao (7.9%), así como los productos de carne

Huella hídrica total per cápita**Mapa 1****Fuente:**

Mekonnen, M.M. y A.Y. Hoekstra. *National Water Footprint Accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE, Delft the Netherlands. 2011.

Importación neta de agua virtual¹**Mapa 2****Nota:**

¹ En el periodo 1996–2005 los países que se presentan en verde en el mapa tenían un balance negativo, lo que implica una exportación neta de agua virtual; mientras que aquellos países que aparecen en amarillo o rojo tenían la importación neta.

Fuente:

Mekonnen, M.M. y A.Y. Hoekstra. *National Water Footprint Accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE, Delft the Netherlands. 2011.

de res (6.7%). No obstante, el mayor flujo de agua virtual internacional es el que se destina a las oleaginosas (como el algodón, soya, aceite de palma, de girasol y de colza) y productos derivados, cuya participación representa casi el 44% de la suma total de flujos de agua virtual internacional.

Referencias:

Chapagain, A.K. y A.Y. Hoekstra. *Water footprints of nations, value of water*. Research Report Series 16, UNESCO-IHE. Delft. Netherlands. 2004. Disponible en: www.waterfootprint.org. Fecha de consulta: octubre de 2012.

Chapagain, A.K., A.Y. Hoekstra y H.H.G. Savenije. Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences* 10: 455-468. 2006.

Mekonnen, M.M. y A.Y. Hoekstra. *National Water Footprint Accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*. Value of Water Research Report Series No.50. UNESCO-IHE, Delft the Netherlands. 2011.

o la India, pero difiere significativamente de la mayoría de los países desarrollados, donde la proporción destinada a usos industriales es mucho mayor, como es el caso de Bulgaria y Eslovenia (Figura 6.5).

La mayor parte del agua que se extrae en el país se destina a las actividades agropecuarias: en 2010 cerca del 77% se utilizó para el riego de 6.5 millones de hectáreas (cerca de la cuarta parte de la superficie sembrada), así como para las actividades pecuarias y acuícolas (Figura 6.6). Le siguió el uso para abastecimiento público, con 14% del volumen total de agua extraída y el industrial y la generación de energía eléctrica con 9%. Dentro de los usos no consumtivos del agua, en 2009 las hidroeléctricas emplearon para su funcionamiento un volumen de 136.1 kilómetros cúbicos para generar 26.4 TWh⁹ de electricidad (11.3% del total nacional).

Del volumen total de agua que se concedió en el país en 2010, casi 56% (44.6 km³) correspondió a las regiones Lerma-Santiago-Pacífico (14.6 km³, 18%), Balsas (10.4 km³, 12.9%), Pacífico Norte (10.4 km³, 13%) y Río Bravo (9.3 km³, 11.6%); las regiones que menos agua extrajeron fueron Pacífico Sur (1.4 km³), Frontera Sur (2.2 km³) y Península de Yucatán (2.8 km³), que en conjunto representan apenas el 8% del total nacional (Mapa 6.6).

Si se analiza el origen del agua concesionada para extracción en el país¹⁰ en 2009, 63% del volumen provino de las fuentes superficiales, mientras que el restante 37%, de las subterráneas. La extracción de fuentes superficiales se ha incrementado poco más de 15% entre el año 2000 y 2009, mientras que la extracción de agua subterránea se mantuvo prácticamente sin cambios (**IB 2.1-3**). Ahora

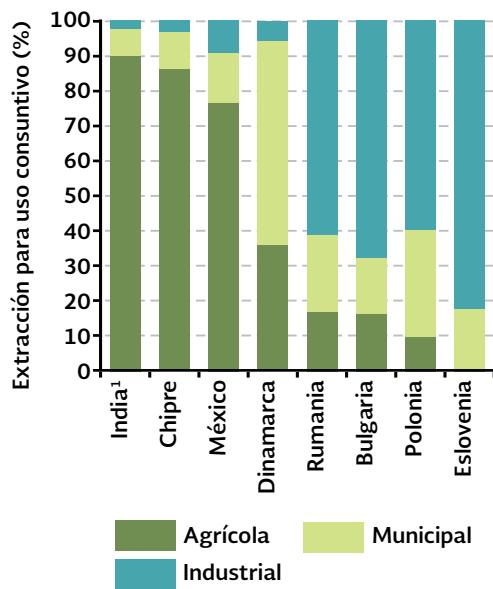


⁹ 1 TWh = 1 000 GWh = 1 000 millones de kWh.

¹⁰ Únicamente se considera el volumen de agua concesionada, como una aproximación al volumen verdadero de agua consumida que se extrae.

Extracción de agua por uso consuntivo en México y otros países, 2009

Figura 6.5



Nota:

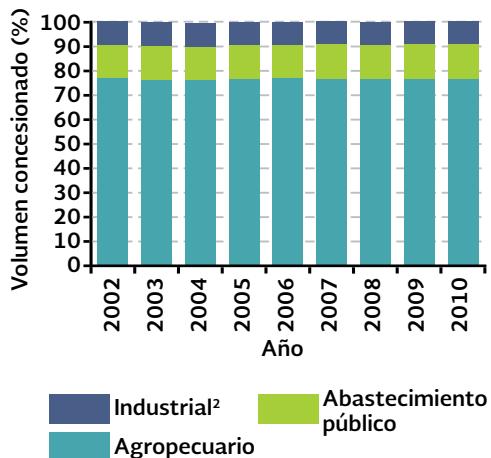
¹ Datos 2010.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
FAO-Aquastat. 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/data/. Fecha de consulta: agosto de 2012.

Volumen concesionado¹ por uso consuntivo en México, 2002 - 2010

Figura 6.6



Nota:

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

² Incluye: industria, agroindustria, servicios, comercio y generación de energía eléctrica.

Fuentes:

CNA, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Edición 2004. México, 2004.

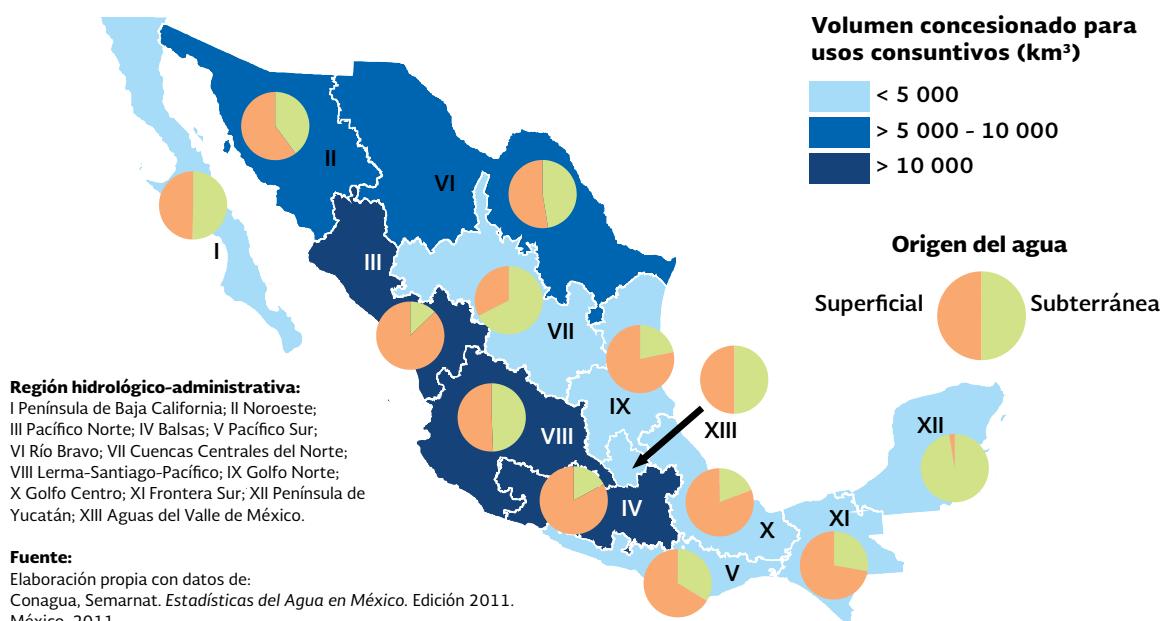
Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México 2005, Síntesis. México, 2005.

Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2006-2008, 2010 y 2011. México, 2006-2008, 2010 y 2011.

Conagua, Semarnat. Atlas del Agua en México 2012. México. 2012.

Volumenes concesionados por región hidrológico-administrativa, según origen, 2009

Mapa 6.6



bien, existen diferencias marcadas al interior del país con respecto a la proporción de agua superficial y subterránea que se utiliza: por ejemplo, en 2009 las regiones en las que el agua procedió en mayor medida de las fuentes superficiales fueron Pacífico Norte (87%), Balsas (83%), Golfo Centro (81%) y Golfo Norte (78%), mientras que en las regiones de las Cuencas Centrales del Norte y Península de Yucatán se utilizó una fracción considerable del agua de origen subterráneo (67 y 97%, respectivamente; Mapa 6.6; *Cuadro D3_AGUA03_03*).

El uso de agua superficial se mantuvo con pocos cambios en la mayoría de las regiones del país entre los años 2002 y 2009; no obstante, son notables los casos de la región Noroeste y la Península de Yucatán, donde el volumen concedionado se incrementó en más de 120 y 200%, respectivamente. En cuanto al uso del agua subterránea, el volumen concedionado se incrementó considerablemente en la Península de Yucatán (más de 160%), seguida de las regiones Golfo Centro y Pacífico Sur (ambas con más de 120%) en ese mismo periodo.

En 2009 el abastecimiento de agua para uso agrícola, así como para la industria y la generación de energía eléctrica a nivel nacional provenían en su mayor parte de fuentes superficiales (66 y 70%, respectivamente), en contraste con el agua que se destina al uso público, que en su mayoría procedía de fuentes subterráneas (62%). Entre 2000 y 2009 el volumen de agua concedionado para uso agropecuario de origen superficial aumentó 6% en el periodo (pasando de 38.58 a 40.92 km³); por otro lado, el uso de agua superficial para el abastecimiento público se incrementó en 66.7% (pasó de 2.58 a 4.31 km³), mientras que en el mismo periodo el uso industrial de agua superficial se duplicó (pasó de 2.54 a 5.20 km³; Figura 6.7; *Cuadro D3_AGUA03_03*).

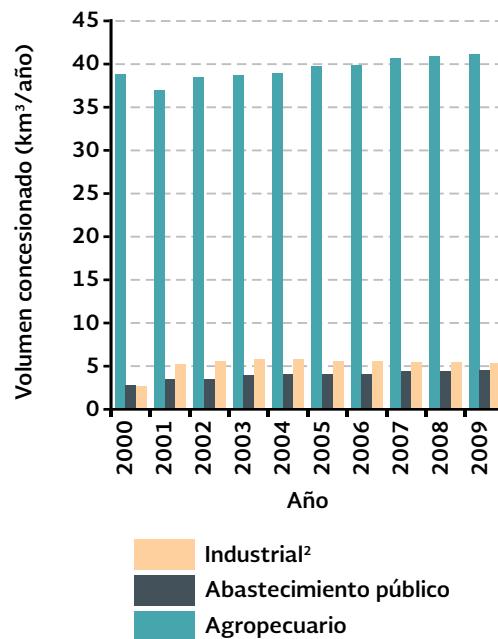
Respecto al volumen concedionado del agua de origen subterráneo, entre 2000 y 2009 se incrementó 8.5% para el uso agropecuario (cambió de 19.22 a 20.87 km³), aunque con algunas fluctuaciones; en el mismo periodo, el volumen de agua concedionado para

abastecimiento público con el mismo origen se incrementó en 24.1% (pasó de 5.71 a 7.09 km³), en contraste con el volumen subterráneo para uso industrial que disminuyó en 41.4%, ya que pasó de 3.58 a 2.1 km³ (Figura 6.8).

Si se analizan regionalmente los usos consuntivos del agua, las diferencias resultan importantes. En 2010, en la región Pacífico Norte, el 93% del agua se destinaba a actividades agropecuarias, mientras que en la región del Valle de México este uso consuntivo alcanzaba apenas 49.5% (Mapa 6.7, *Cuadro D3_AGUA03_03*). En lo que se refiere al agua para el abasto público, las regiones que proporcionalmente asignaron más agua fueron Aguas del Valle de México (44.9%), Península de Yucatán (20.7%), Pacífico Sur (24.4%) y Frontera Sur (21.1%). El agua destinada para el uso industrial en general es

Volumen de agua concedionado¹ de origen superficial, 2000 - 2009

Figura 6.7



Notas:

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

² Incluye: industria, agroindustria, servicios, comercio y generación de energía eléctrica.

Fuentes:

Semarnat, Conagua, *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2002-2008, 2010 y 2011. México, 2002-2008, 2010 y 2011.

inferior al uso para abastecimiento público, excepto en las regiones Balsas, Golfo Centro y Península de Yucatán (con 32.7, 22.8 y 18.5%, respectivamente).

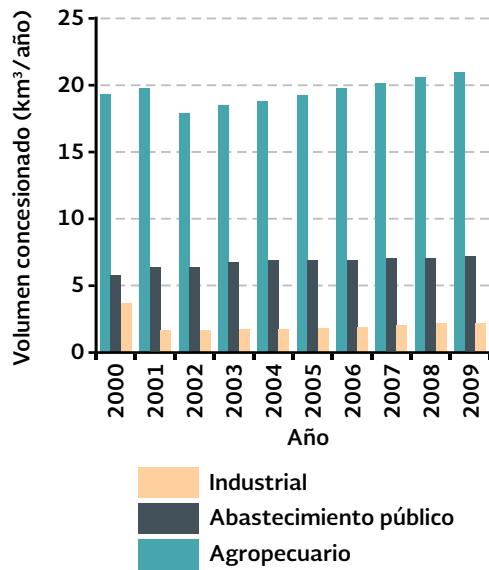
Agua subterránea: intensidad de uso y acuíferos sobreexplotados

Para conocer cómo afectan los usos consumtivos la sostenibilidad de los recursos subterráneos, un buen indicador es la intensidad de uso, que se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos. Si se analiza por región hidrológico-administrativa, el panorama es preocupante: en 2009, los valores de intensidad de uso del agua subterránea en las regiones Cuencas Centrales del Norte y Península de Baja California fueron muy altos, es decir, el agua utilizada excedió la recarga, con valores al 110%, respectivamente (Mapa 6.8; Cuadro D3_AGUA02_01; IC 10). Por otro lado, entre 2004 y 2009, para las regiones Golfo Norte y Noroeste, la intensidad de uso disminuyó en 37 y 17%, respectivamente.



Volumen de agua concesionado¹ de origen subterráneo, 2000 - 2009

Figura 6.8



Nota:

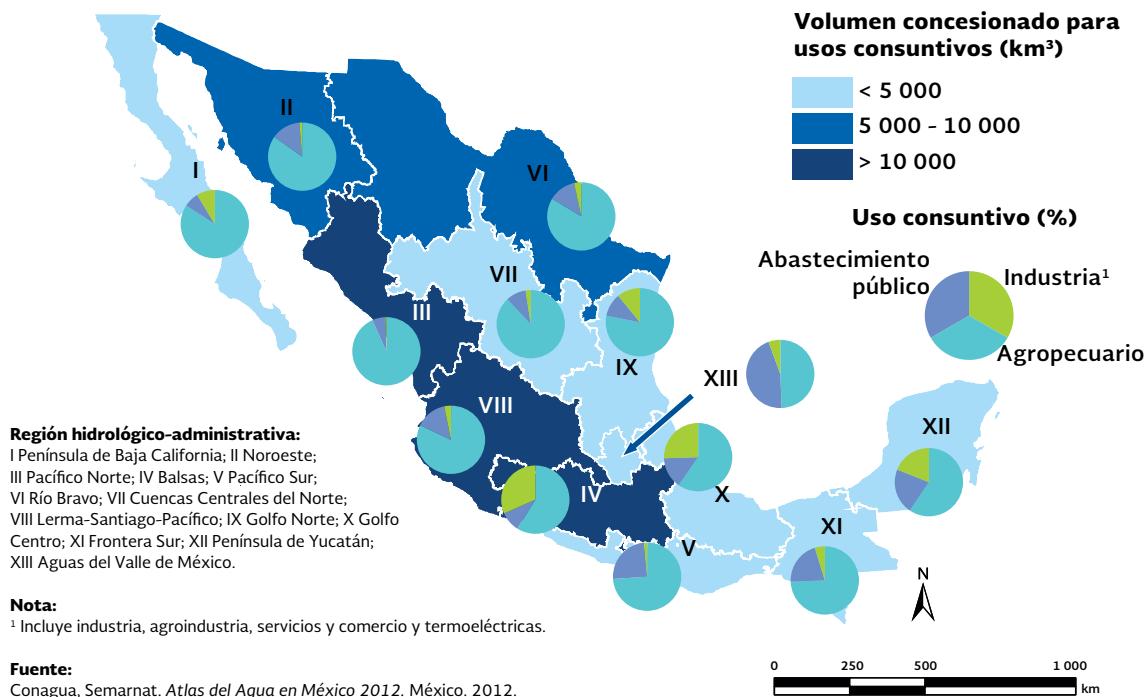
¹ El volumen concedido está basado en el lugar del título de la concesión y no en el lugar del aprovechamiento.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. Estadísticas del Agua en México. Ediciones 2002-2008, 2010 y 2011. México, 2002-2008, 2010 y 2011.

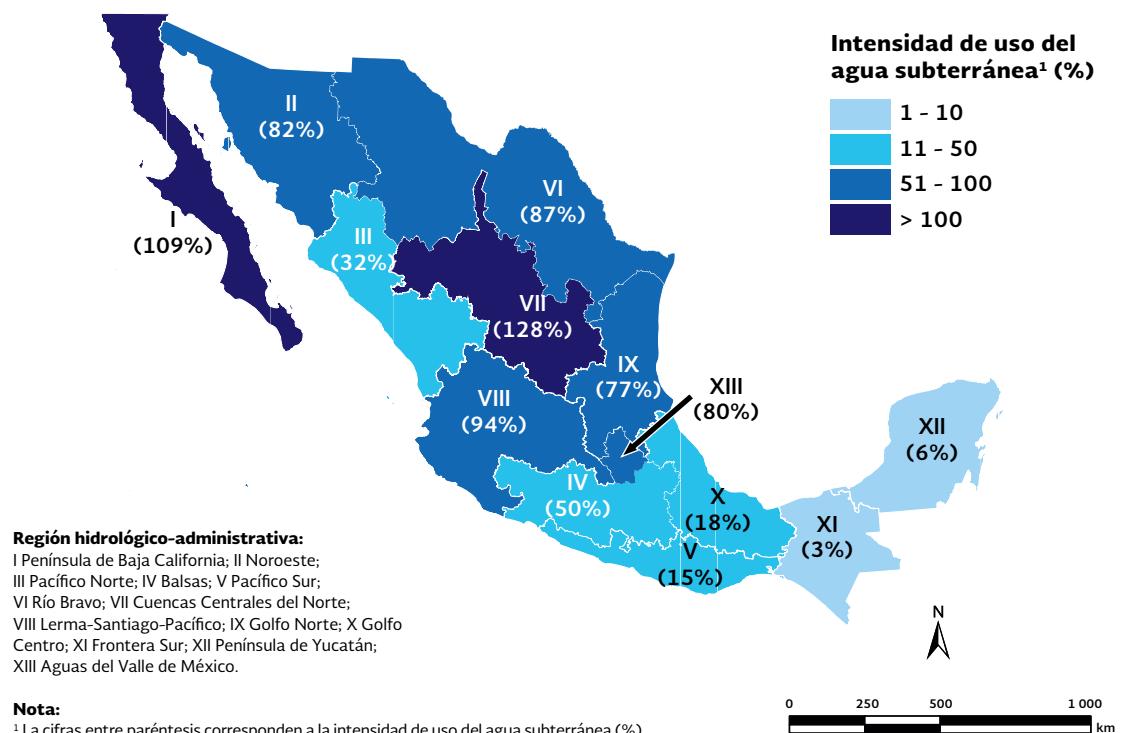
Uso consumutivo por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.7



Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2009

Mapa 6.8



Uno de los aspectos más relevantes del manejo adecuado del agua subterránea radica en el control del volumen aprovechado por los diferentes usuarios consumtivos. En ocasiones la demanda puede ser muy intensa, y puesto que algunos acuíferos tienen períodos de renovación muy largos, la demanda puede superar la recarga del acuífero y producir su sobreexplotación.

A partir de la década de los años setenta, el número de acuíferos sobreexplotados se ha incrementado notablemente. En 1975 existían 32 acuíferos en esta categoría, cifra que se elevó a 36 en 1981, 80 en 1985, 100 en 2009 y 102 en 2011. Los 102 acuíferos con sobreexplotación representan el 15% de los 653 que hay en el país. Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones hidrológicas Lerma-Santiago-Pacífico, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo, Noroeste y Península de Baja California (Mapa 6.9). De

estos acuíferos se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos.

Además de la sobreexplotación, algunos acuíferos se encuentran bajo condiciones de salinización. En amplias zonas de riego, sobre todo las que se encuentran en las zonas costeras, la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado que los niveles de agua subterránea hayan descendido varios metros y que se favorezca la intrusión del agua del mar y la disminución de la calidad de su agua. En 2011, catorce acuíferos tenían problemas de intrusión salina (ocho de los cuales también tenían condiciones de sobreexplotación, principalmente los de las regiones Península de Baja California y Noroeste) y 31 presentaban problemas de salinización y aguas subterráneas salobres (13 de ellos en condición de sobreexplotación; **IB 2.1-7**).

El tema de la escasez del agua es uno de los más importantes de la agenda ambiental global. El problema fundamental de su disponibilidad se debe a que, mientras la cantidad del líquido es prácticamente invariable, la población humana aumenta y con ella su demanda de alimentos, productos manufacturados y energía. En 2011, la población mundial alcanzó 7 mil millones de habitantes y se espera que llegue a 9 300 millones para el 2050, lo que reducirá significativamente la disponibilidad per cápita. Se estima que en el 2025 cerca de 1 800 millones de personas vivirán en países o regiones en condición de completa escasez de agua, mientras que dos terceras partes de la población mundial podrían estar sujetas a condiciones de estrés hídrico (UNEP, 2007).

Para México, la disponibilidad per cápita en 2009 fue de 4 263 metros cúbicos, y se calcula podría reducirse en 2030 a tan sólo 3 800 metros cúbicos por habitante por año (Conagua, 2011). A nivel regional, en 2009 los habitantes de cinco regiones hidrológico-administrativas presentaron una disponibilidad per cápita clasificada como muy baja, y la región Aguas del Valle de México se encontraba en la categoría de extremadamente baja. Para el año 2030, considerando que la disponibilidad natural se mantendrá constante, los pronósticos señalan que dos regiones más, las de la Península de Baja California y Río Bravo se integrarán a la lista de las regiones con categoría

de disponibilidad extremadamente baja (Tabla a).

Otra causa de la escasez de agua se encuentra en la creciente urbanización de los países. La urbanización pone bajo severa presión los recursos hídricos locales (tanto los superficiales como los subterráneos), y en algunos casos, ejerce presión sobre los recursos de regiones vecinas. En 1950, de los 2 500 millones de habitantes del planeta, 29% vivía en zonas urbanas, mientras que el restante 71% (alrededor de 1 800 millones de personas) habitaba zonas rurales. Para el año 2050, según estimaciones, la situación se invertirá: cerca del 70% de la población global (6 500 millones) vivirá en ciudades y el resto (30%, es decir, 2 790 millones de personas) ocupará las zonas rurales (UN, 2008). México ha seguido un patrón de urbanización similar al mundial. En 1970, 51.7% de la población vivía en zonas urbanas, y se calcula que podría incrementarse hasta el 68% en el año 2030 (Reyna y Hernández, 2006; Conapo, 2007), lo cual podría exacerbar la condición crítica de abasto de agua en las regiones más urbanizadas, como el centro y poniente del país.

Finalmente, el desarrollo económico y el cambio climático también podrían tener un impacto importante sobre la disponibilidad de agua en el futuro. En el primer caso, debido a que en la medida en que se eleva el bienestar

Proyección de la disponibilidad de agua per cápita nacional a 2030

Tabla a

Región hidrológico-administrativa		Disponibilidad natural por habitante en 2030 (m ³ /hab/año) ¹	Categoría de disponibilidad en 2030
I	Península de Baja California	780	Extremadamente baja
II	Noroeste	2 819	Baja
III	Pacífico Norte	6 753	Media
IV	Balsas	1 946	Muy baja
V	Pacífico Sur	8 154	Media
VI	Río Bravo	907	Extremadamente baja
VII	Cuencas Centrales del Norte	1 703	Muy baja
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	1 448	Muy baja
IX	Golfo Norte	5 001	Media
X	Golfo Centro	9 618	Media
XI	Frontera Sur	21 039	Muy alta
XII	Península de Yucatán	5 105	Media
XIII	Aguas del Valle de México	127	Extremadamente baja
Nacional		3 783	Baja

Nota:¹ Cálculo basado en la proyección de la población a 2030 del Conapo.**Fuentes:**

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2008. México. 2008.Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México. 2006.

de los países, el consumo de agua por habitante tiende a crecer (UN, 2007). Con respecto al cambio climático éste podría tener un efecto importante alterando tanto la disponibilidad a nivel mundial como la distribución de estos recursos a través del tiempo: de acuerdo

con los escenarios proyectados, se observará un clima más errático en el futuro, lo que supondrá una mayor variabilidad en las precipitaciones, riesgo para las cosechas agrícolas y afectaciones en el suministro a la población.

Recuadro

Escenarios futuros de disponibilidad del agua (conclusión)

Referencias:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. México. 2011.

Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México, 2006.

Reyna B. A. y J.C. Hernández. *Poblamiento, desarrollo rural y medio ambiente. Retos y prioridades de la política de población*. Conapo. México. 2006.

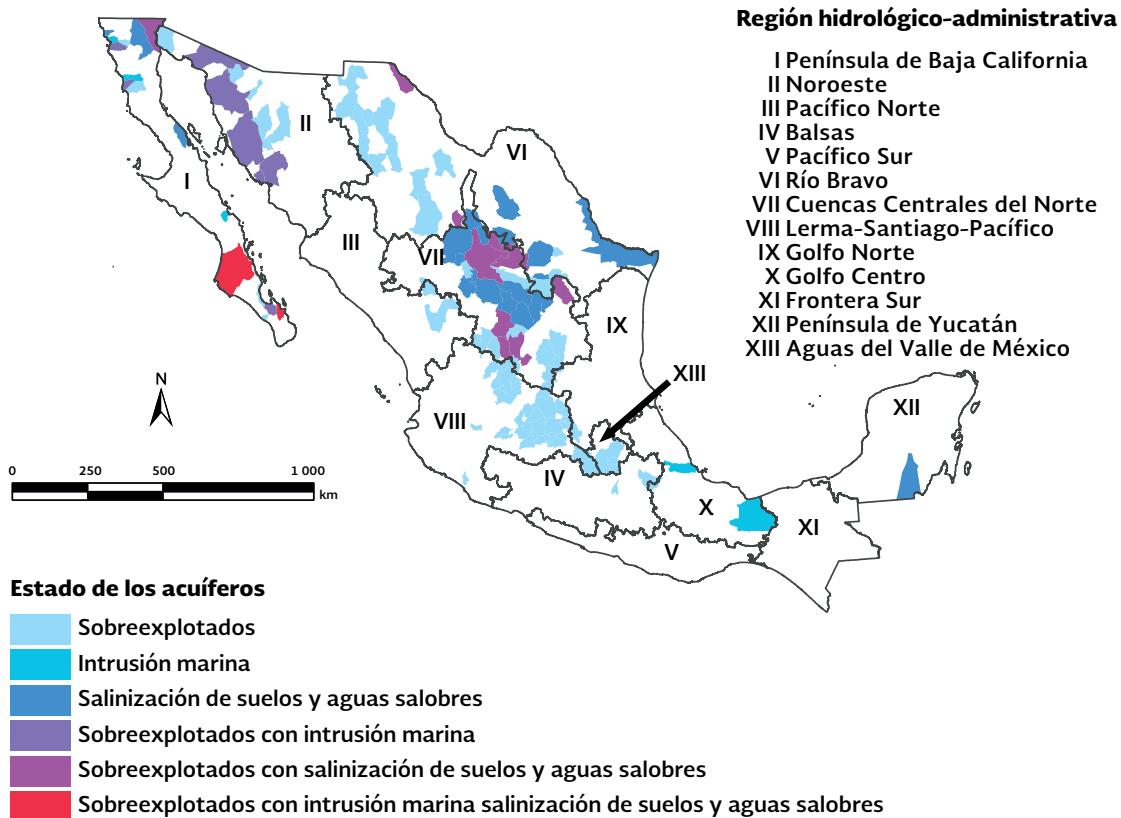
UN. *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. Third edition. United Nations. NY. 2007.

UN. *World Urbanization Prospects. The 2007 Revision. Executive Summary*. USA. 2008.

UNEP. *GEO 4. Global Environmental Outlook. Environment for development*. United Nations Environment Programme. Malta. 2007.

Acuíferos sobreexplotados, con intrusión marina y salinización de suelos, 2011

Mapa 6.9



Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Gerencia de Aguas, Subdirección General Técnica, Conagua, Semarnat. México. 2013.

CALIDAD DEL AGUA

La situación de la disponibilidad del agua no refleja cabalmente la magnitud del problema que enfrentan las sociedades y los ecosistemas naturales. Debido a la descarga continua de aguas residuales domésticas e industriales sin un tratamiento que elimine los contaminantes que contienen, como de los escurrimientos con fertilizantes y plaguicidas provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias asentadas en las diferentes cuencas, la calidad de las aguas superficiales y subterráneas se afecta negativamente, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas.

La calidad del agua es un atributo que se define en función del uso que se le asigna (por ejemplo, como agua potable, para recreación, para uso agrícola o industrial), lo que implica necesariamente la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos (UNDP et al., 2000). La calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo depende de múltiples factores, algunos de los cuales la reducen directa o indirectamente, mientras que otros pueden revertir los efectos de la contaminación y, por lo tanto, mejorarla. Entre los factores que reducen la calidad del agua destacan las descargas directas de agua o residuos sólidos provenientes de las actividades domésticas, agropecuarias o industriales; la disposición inadecuada en el suelo de residuos sólidos urbanos o peligrosos puede ocasionar, indirectamente, que escurrimientos superficiales y lixiviados contaminen los cuerpos de agua y los acuíferos. Por otro lado, y actuando para mejorar la calidad del agua, está la capacidad natural de los ecosistemas acuáticos para descomponer o inmovilizar los contaminantes.

DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES

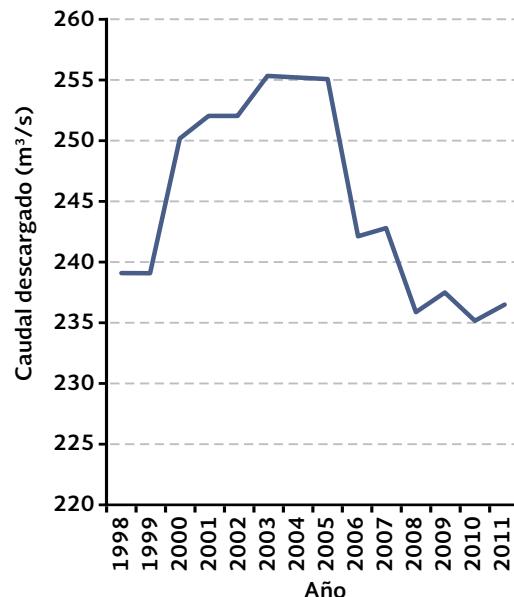
Las aguas residuales de origen urbano provienen de las viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana que se colecta en el drenaje. Sus principales

contaminantes son nutrientes (nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus), materia orgánica, detergentes, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos (Silk y Ciruna, 2004).

En México en 2011, el volumen de aguas residuales provenientes de los centros urbanos fue de aproximadamente 7.5 kilómetros cúbicos (equivalente a cerca de 236.3 m³/s). Este volumen creció a la par del aumento de la población y la urbanización: entre 2000 y 2005 la generación de aguas residuales de los centros urbanos aumentó alrededor de 7% (equivalente a 16 m³/s), aunque a partir de esa fecha y hasta el 2010 se observó un decremento del volumen del caudal descargado incrementándose nuevamente en 2011 (Figura 6.9; **IB 2.2-1**).

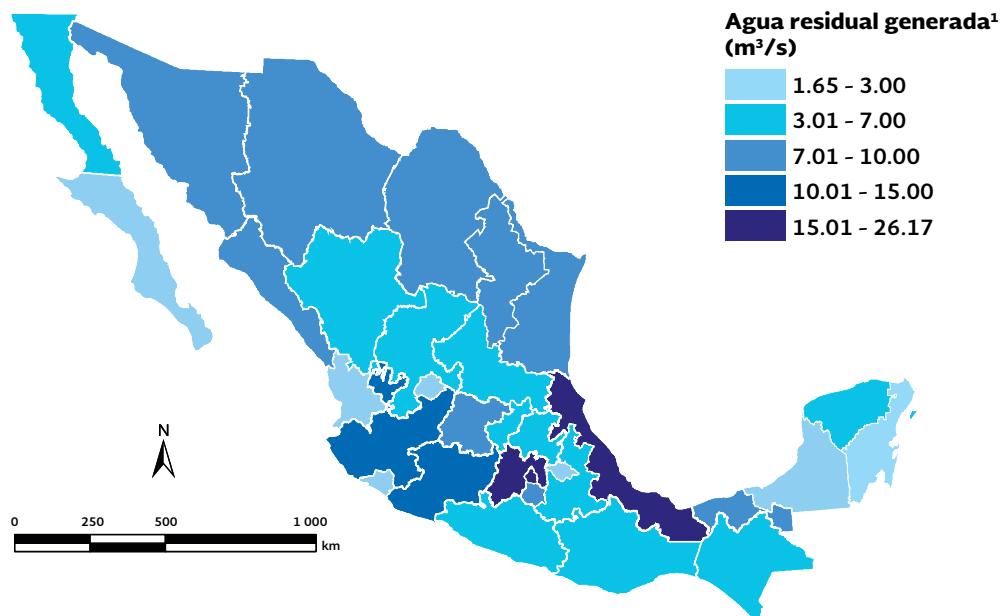
Descarga de aguas residuales municipales a nivel nacional, 1998 - 2011

Figura 6.9



Fuentes:

CNA, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 2002*. México, 2003.
Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*, Ediciones 2007, 2008, 2010 y 2011. México 2007, 2008, 2010 y 2011.
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 2011 y 2012. México, 2011 y 2012.

**Nota:**

¹ El caudal generado fue estimado en función de los siguientes parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

Fuente:

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

Las entidades del país que en 2011 generaron las mayores descargas de aguas residuales municipales fueron México (26.17 m³/s), Distrito Federal (22.46 m³/s) y Veracruz (16.41 m³/s; Conagua, 2012), algunas de las más pobladas del país, y que en conjunto contabilizaron 27.5% del volumen nacional generado (Mapa 6.10).

Las descargas de aguas residuales no municipales en 2009 fueron alrededor de 6.01 kilómetros cúbicos (equivalentes a 190.4  m³/s; **IB 2.2-2**), cuya materia orgánica fue igual a 6.95 millones de toneladas de DBO₅¹¹ al año. Estas descargas hacia los cuerpos de agua crecieron 21 metros cúbicos por segundo entre 2000 y 2009, es decir, un incremento de 12% del volumen descargado (Conagua, 2011).

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

La Comisión Nacional del Agua (Conagua) realiza la medición sistemática de la calidad

del líquido a través de su Red Nacional de Monitoreo (RNM). En 2010, la RNM contaba con 1 627 sitios, de los cuales 495 correspondían a la red primaria: 226 ubicados en cuerpos de agua superficiales, 113 en zonas costeras y 156 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 346 estaciones de monitoreo, de las cuales 282 estaban localizadas en aguas superficiales, 23 en zonas costeras y 41 en aguas subterráneas. De los restantes sitios, 701 pertenecen a la red de estudios especiales y 85 a la red de referencia de agua subterránea. Los sitios con monitoreo de calidad del agua están ubicados en los principales cuerpos de agua del país, incluyendo zonas con alta influencia antropogénica ([Cuadro D3_AGUA_RNM](#)).

La Conagua publica entre sus principales indicadores de calidad del agua, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Otros parámetros que se

¹¹ DBO₅ corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días.

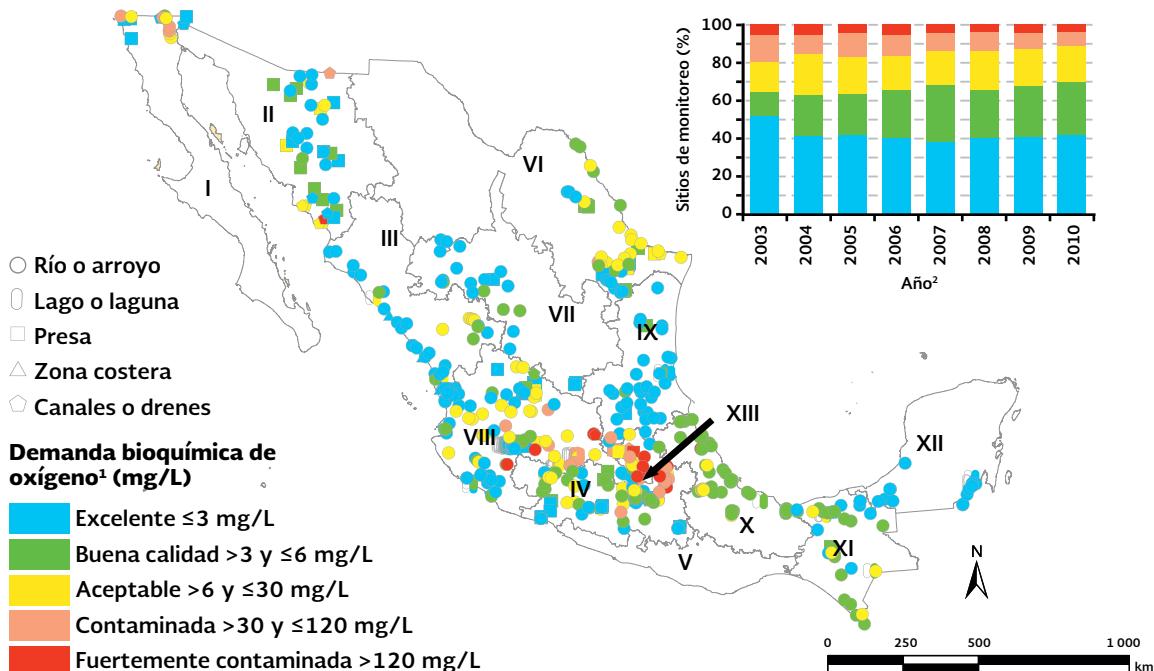
registran en la mayoría de los sitios de la RNM de la calidad del agua son las concentraciones de nitratos (**IB 2.2-10**) y fosfatos (**IB 2.2-9**), así como su dureza, oxígeno disuelto y pH.

La demanda bioquímica de oxígeno se utiliza como indicador de la cantidad de materia orgánica presente en el agua (**IB 2.2-8** e **IC 12**). Su incremento provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, lo cual crea condiciones de “anoxia” y produce efectos negativos en las

comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos. En 2010, en 42.3% de los 652 sitios de monitoreo examinados, la DBO₅ fue inferior a los 3 miligramos por litro, lo que se considera como valor límite máximo para una excelente calidad del agua (Mapa 6.11). En contraste, cerca de 11.3% de los sitios monitoreados en los cuerpos de agua registró valores de DBO₅ mayores a 30 miligramos por litro, valor que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos. La mayor cantidad de los sitios con altos valores de DBO₅ (mayores a 30 mg/L y que se consideran

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.11



Notas:

- Excelente (no contaminada) ≤3 mg/L; Buena (bajo contenido de materia orgánica) >3 y ≤6 mg/L; Aceptable (con indicio de contaminación pero con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente) >6 y ≤30 mg/L; Contaminada (con descargas de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal) >30 y ≤120 mg/L y Fuertemente contaminada (con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales) >120 mg/L.
- La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

Fuentes:

- Elaboración propia con datos de:
 Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 y 2011. México. 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 y 2011.
 Conagua, Semarnat. Subdirección General Técnica. 2012.

contaminados y fuertemente contaminados) se concentraron en el centro del país: en las regiones Aguas del Valle de México, Lerma-Santiago-Pacífico y Balsas (en 66.7, 18.1 y 14.7% de sus sitios, respectivamente), aunque también se presentaron algunos en la Península de Baja California (22.7% de sus sitios; Mapa 6.11).

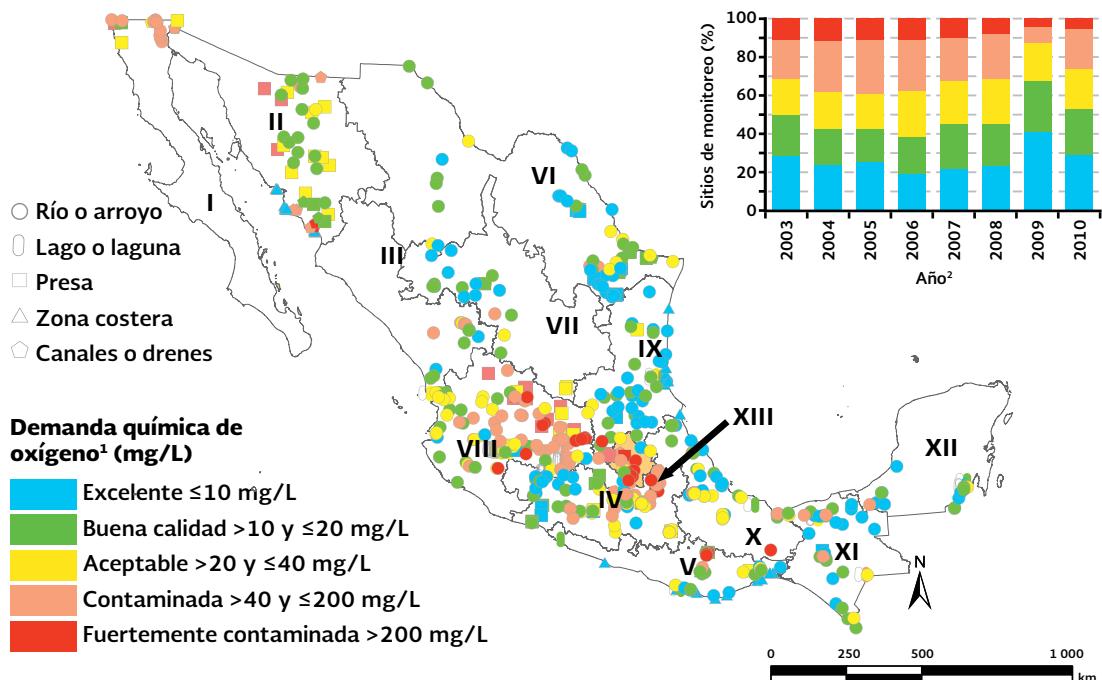
La demanda química de oxígeno (DQO) se utiliza frecuentemente como un indicador de la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los valores superiores a 40 miligramos por litro sugieren la presencia de descargas de aguas residuales crudas. En 2010, de los 714 sitios

de monitoreo, el 26.5% superó este límite, de los cuales poco menos del seis por ciento registró valores promedio superiores a los 200 miligramos por litro (Mapa 6.12). En las regiones Península de Baja California, Lerma-Santiago-Pacífico y Aguas del Valle de México entre 46.7 y 77.3% de los sitios de monitoreo tuvieron concentraciones promedio anuales superiores a los 40 miligramos por litro (Mapa 6.12).

Otro contaminante frecuente en los cuerpos de agua son los fosfatos, que provienen, por lo general, de los compuestos que se aplican como fertilizantes en zonas agrícolas y de los detergentes que se emplean en las

Demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.12



Región hidrológico-administrativa:

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.

Notas:

¹ Excelente (no contaminada) ≤10 mg/L; Buena (bajo contenido de materia orgánica) >10 y ≤20 mg/L; Aceptable (índice de contaminación pero con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente) >20 y ≤40 mg/L; Contaminada (descargas de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal) >40 y ≤200 mg/L y Fuertemente contaminada (fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales) >200 mg/L.

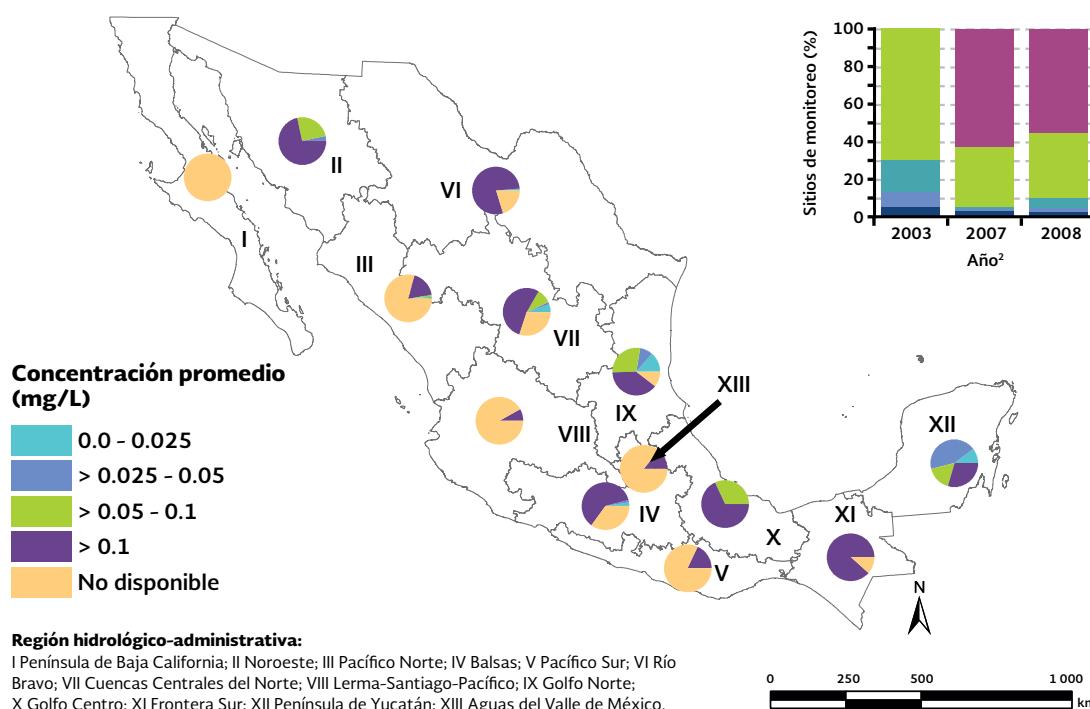
² La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 y 2011. México. 2004, 2005, 2007, 2008, 2010 y 2011.
Conagua, Semarnat. Subdirección General Técnica. 2012.

Fosfato total en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2008

Mapa 6.13



Notas:

¹ Se considera que el límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutrofización acelerada de ríos y arroyos es 0.1 mg/L (DOF, 1989).

² La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Gerencia de Calidad del Agua, Conagua, Semarnat. 2009.

zonas urbanas, aunque también se generan por la erosión del suelo y la materia orgánica en descomposición que descargan industrias, hogares y granjas de animales. Aun cuando no se considera tóxico para los humanos y los animales, los fosfatos pueden tener efectos negativos indirectos a través de la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, lo que implica el crecimiento explosivo de algas y el posterior abatimiento del oxígeno disuelto (Carpenter *et al.*, 1998). En 2008, en poco más del 35% de los 524 sitios de monitoreo del país la concentración de fosfato total fue superior a 0.1 miligramos por litro, la cual se considera como el límite máximo para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y controlar la eutrofización acelerada de ríos y arroyos. Las regiones hidrológico-

administrativas que superaron este límite en más del 50% de los sitios monitoreados fueron: Noroeste (71%), Balsas (60%), Río Bravo (78%), Cuencas Centrales del Norte (53%), Golfo Centro (68%) y Frontera Sur (88%; Mapa 6.13).

Los nitratos son componentes importantes de los fertilizantes que se originan por la oxidación del amonio (NH_4^+) y de otras fuentes nitrogenadas presentes en los restos orgánicos. Tienen efectos adversos en la salud humana, causando cianosis e, incluso asfixia (Camargo y Alonso, 2007), mientras que en los ecosistemas acuáticos pueden favorecer el crecimiento de algas y la disminución de los niveles de oxígeno. En 2008 se detectaron concentraciones superiores a 0.2 mg/L¹² y

¹² Se establece como concentración máxima 0.2 mg/L para el consumo a largo plazo, con el fin de prevenir la metahemoglobinemia en niños (WHO, 2004).

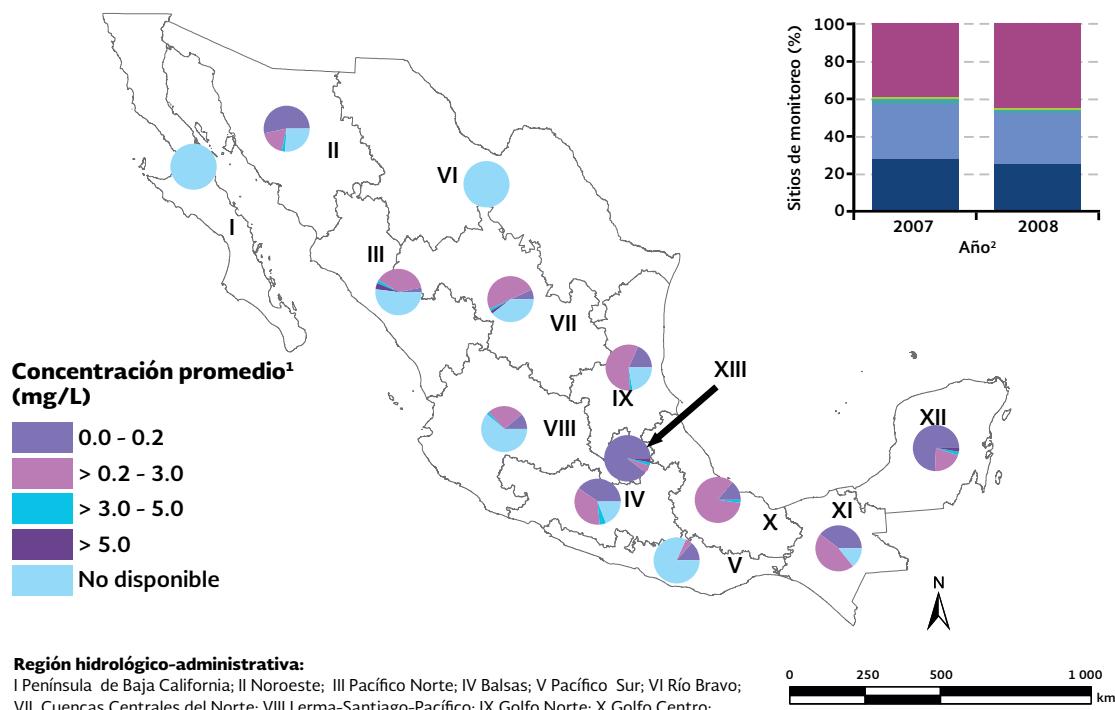
de hasta 0.3 mg/L en 27% de los sitios de monitoreo (de 524 sitios en total) de la RNM (Mapa 6.14). En las regiones Golfo Norte y Golfo Centro, el 59 y 86%, respectivamente, de los sitios de monitoreo sobrepasaron esos niveles.

Otro indicador de la calidad del agua es la cantidad de sólidos suspendidos totales¹³ (SST) que provienen de las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST en los cuerpos de agua afecta la diversidad de la vida acuática ya que causan la turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática natural. La evaluación de

la calidad del agua en 2010, demostró que de las 799 estaciones de monitoreo que registran sólidos suspendidos totales, 20 se consideraron contaminadas (2.5% del total) y 5 (0.6%) fuertemente contaminadas. Las regiones con mayor porcentaje de sitios monitoreados con contaminación de las aguas superficiales fueron Aguas del Valle de México (14.8% de sus sitios) y Pacífico Sur (5.6%). Por otro lado, las regiones con el mayor porcentaje de sus sitios de monitoreo en aguas superficiales con excelente calidad fueron la Península de Yucatán (100%), Golfo Centro (86.8%), Río Bravo (73.1%) y Península de Baja California (70.4%; Mapa 6.15).

Nitrato total en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2009

Mapa 6.14



Región hidrológico-administrativa:

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.

Notas:

¹ Se establece como concentración máxima 0.2 mg/L para el consumo a largo plazo, con el fin de prevenir la metahemoglobinemia en niños (WHO, 2004).

² La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

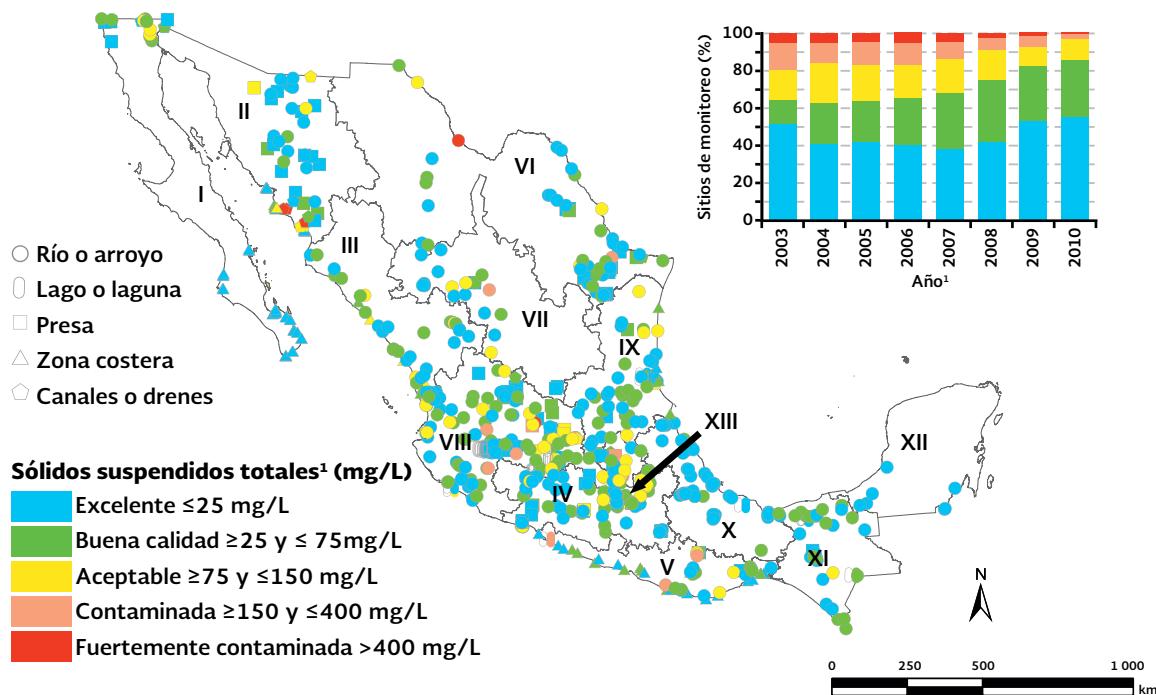
Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Gerencia de Calidad del Agua, Conagua, Semarnat. 2009.

¹³ Se considera que el límite máximo 25 mg/L (DOF, 1989).

Sólidos suspendidos totales en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2010

Mapa 6.15



Nota:

¹ La comparación entre años debe hacerse con cautela debido a que el número de sitios de monitoreo puede diferir de manera importante entre años.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2008, 2010 y 2011. México. 2008, 2010 y 2011.
Conagua, Semarnat. Subdirección General Técnica. 2012.

El agua contaminada que corre por ríos y arroyos no sólo tiene efectos sobre la población que la usa o los ecosistemas en los que se descarga, sino también en las zonas costeras en donde desembocan. Los daños más comunes a la salud que pueden producirse por nadar en aguas contaminadas son las enfermedades gastrointestinales, la irritación en la piel e infecciones en ojos y oídos. A pesar de que estas infecciones generalmente no son graves, la actividad turística puede afectarse cuando existen playas cuya agua carece de la calidad requerida para conservar la salud de los visitantes.

Con el objetivo de monitorear y mejorar la calidad bacteriológica del agua de mar en destinos turísticos de playa, en 2003 se inició el Programa Integral de Playas Limpias

y el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas, en el que participan las Secretarías de Marina (Semar), Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Salud (SS) y Turismo (Sectur). Este programa sistematiza y homogeneiza los monitoreos de la calidad del agua de mar de acuerdo con los criterios descritos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para fines recreativos. Actualmente cuenta con laboratorios estatales de salud que siguen los lineamientos emitidos por la Secretaría de Salud y en coordinación con ésta, realizan los muestreos y análisis del agua en cada uno de los 17 estados costeros de México.

Debido a la dificultad técnica y económica para determinar todos los parámetros relacionados con la calidad del agua, se utiliza

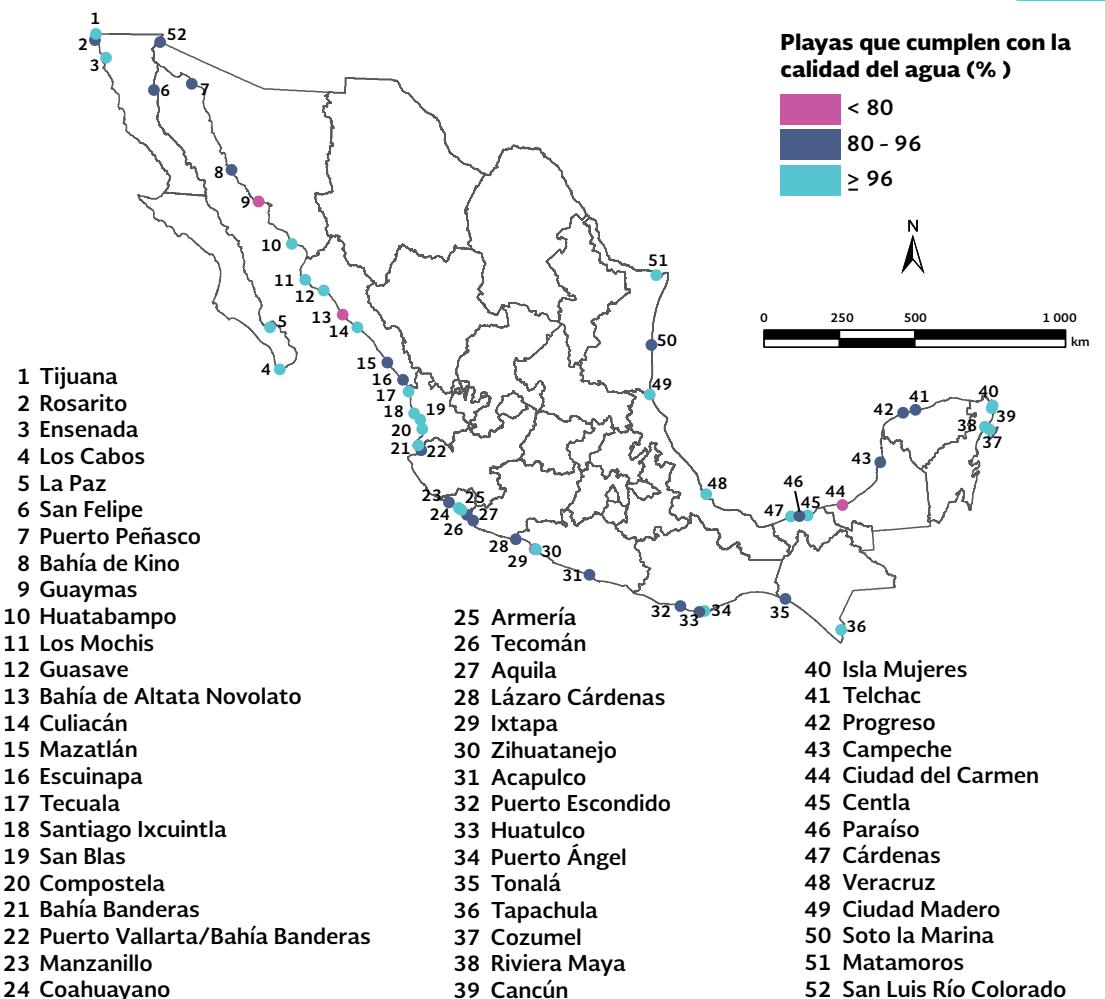
a los enterococos fecales como indicador del grado de contaminación del agua de mar y de los riesgos sanitarios para usarla con fines recreativos. De acuerdo con el criterio de calificación de la calidad del agua en las playas de la Secretaría de Salud (basado en estudios de la OMS) las muestras con un contenido superior a los 200 enterococos en 100 mililitros no son recomendables para uso recreativo.

En sus inicios en 2003, este programa monitoreaba un total de 226 sitios en 35 destinos turísticos de las costas del país, incrementándose a 338 playas en 52 destinos turísticos para 2009 y en 2010 se monitorearon 245 playas. Desde que inició

el programa de monitoreo, la mayoría de los estados han registrado una mejoría en la calidad del agua de sus playas. Mientras que en 2003 el 93.7% de las muestras cumplían con los criterios de calidad del agua, para el 2010 este valor era de 96.9%. No obstante, los estados con más sitios muestreados donde no se cumplieron los estándares de calidad en ese periodo fueron Jalisco (con 9% del total de muestreos para el periodo), Chiapas (5%), Campeche, Veracruz y Sonora (con el 3% en cada uno). Para 2010, las entidades con al menos una playa que no cumplía con los criterios de calidad del agua fueron Sonora, Sinaloa, Guerrero y Campeche, (menos del 2% de los sitios monitoreados en todos los casos; Mapa 6.16).

Calidad del agua del mar en algunos destinos turísticos, 2010

Mapa 6.16



Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. Atlas del Agua en México 2012. México. 2012.

EL AGUA Y EL BIENESTAR DE LA POBLACIÓN

SERVICIOS

El bienestar y la salud de la población dependen, en gran medida, de su acceso a los servicios básicos, siendo el agua potable y el alcantarillado dos de los más importantes. Para muchos países ha sido imperativo el impulso hacia la construcción de la infraestructura hidráulica que lleve estos servicios a sus crecientes poblaciones. Sin embargo, en muchos casos ha sido insuficiente. El último informe mundial de los Objetivos de Desarrollo del Milenio destaca que, en 2008, alrededor de 884 millones de habitantes (es decir, 13% de la población mundial) aún no tenían acceso a fuentes mejoradas¹⁴ de agua potable (ONU, 2011).

Esto último ocurre principalmente en las áreas rurales donde no existe la posibilidad de que el agua tenga tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso. A nivel regional, Asia meridional, el África Subsahariana y Oceanía tienen un porcentaje inferior al mundial respecto al uso de fuentes mejoradas de agua para consumo (Figura 6.10).

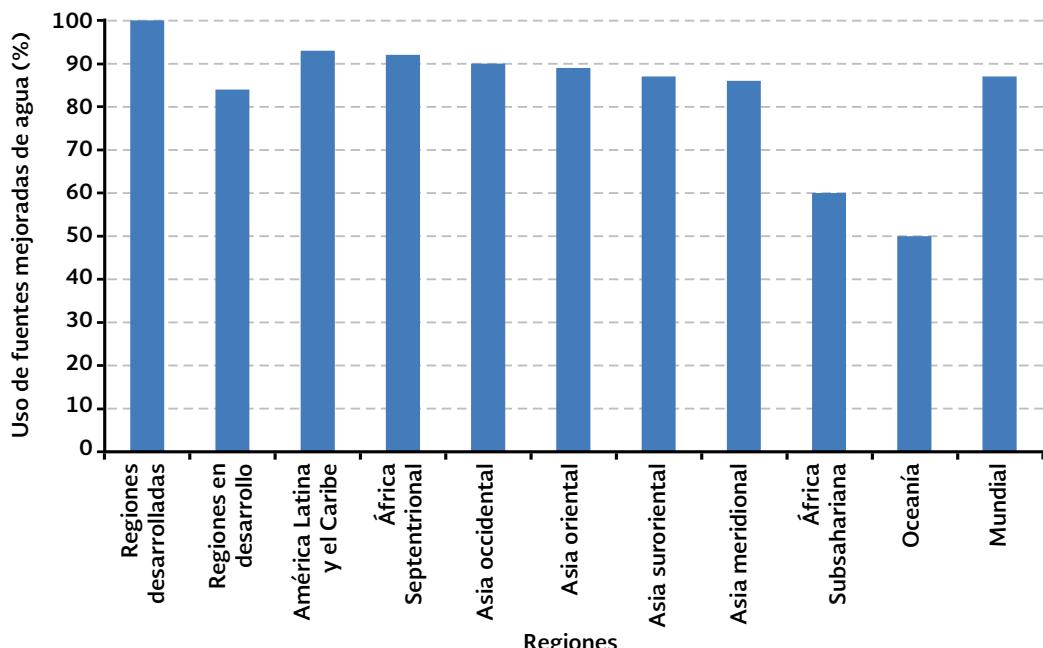
AGUA POTABLE

En México, el servicio de agua potable, junto con los de drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales se encuentra a cargo de los municipios, generalmente a través de organismos operadores. En el año 2011, la cobertura nacional de agua potable¹⁵ alcanzó 91.6% (Conagua, 2012; **IB 2.1-11**), valor mayor al promedio mundial registrado en 2008 (87%), pero menor al estimado para América



Población mundial que utiliza fuentes mejoradas¹ de agua por regiones, 2008

Figura 6.10



Nota:

¹ Incluye conexión a una red doméstica, pública, pozo protegido o recolección de agua de lluvia.

Fuente:

OMS-UNICEF. *Progresos en materia de saneamiento y agua: Informe de actualización 2010*. Francia. 2010.

¹⁴ Incluye conexión a una red doméstica, pública, pozo protegido o recolección de agua de lluvia.

¹⁵ La NOM-127-SSA1-1994 define como agua potable a aquella para uso y consumo humano que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud (DOF, 2000).

Latina y El Caribe (de alrededor de 93%) y para países como Estados Unidos, Francia y Canadá, con coberturas que prácticamente alcanzan el 100% de la población (OMS y UNICEF, 2010).

El crecimiento de la cobertura a nivel nacional se incrementó 16% entre el año 1990 y el 2010 (Figura 6.11). A nivel de localidad, en el mismo periodo, la cobertura en zonas urbanas pasó de 89.4 a 95.6% (un aumento de 6.9%), mientras que en las zonas rurales siguió siendo considerablemente menor, aunque con un progreso importante, creciendo de 51.1 a 75.7%, lo que representa un aumento de 47.8% (Figura 6.11; *Cuadro D3_AQUA06_02*).

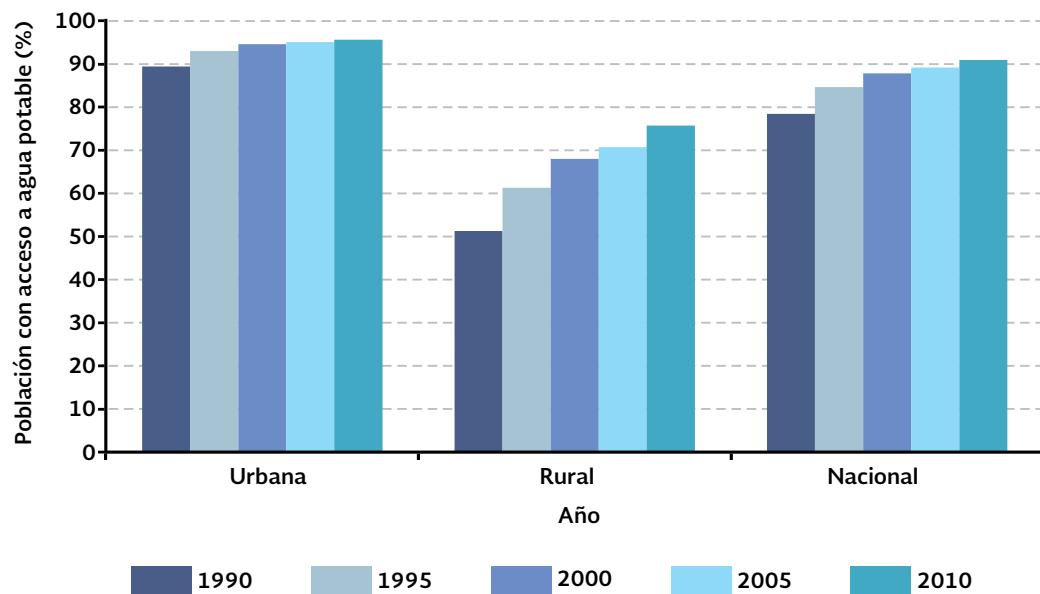
Al interior del país, durante el periodo 2000-2010, la mayoría de las entidades federativas incrementaron en términos reales la cobertura de este servicio, aunque

con diferencias importantes (*Cuadro D3_AQUA06_01*). Entidades como Aguascalientes, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Nuevo León, Tamaulipas y Yucatán, tenían en 2011 coberturas de agua potable superiores al 97% de su población; en contraste, Guerrero, Oaxaca y Chiapas contaban con coberturas inferiores al 80% (74.3, 77.4 y 79%; Mapa 6.17).

También son notorias las diferencias en los esfuerzos por incrementar la cobertura de este servicio. Durante la primera década del siglo XXI, Veracruz, Tabasco, San Luis Potosí, Hidalgo, Zacatecas y Campeche, que tenían coberturas de entre 70 y 88%, lograron incrementos de entre 6 y 14% en dicho periodo (Figura 6.12). Entidades como Quintana Roo, Distrito Federal, Morelos y Baja California Sur, que para el año 2000 tenían coberturas superiores al 90%, aún enfrentan el reto de alcanzar la cobertura total en una

Cobertura de agua potable, 1990 - 2010

Figura 6.11



Fuentes:

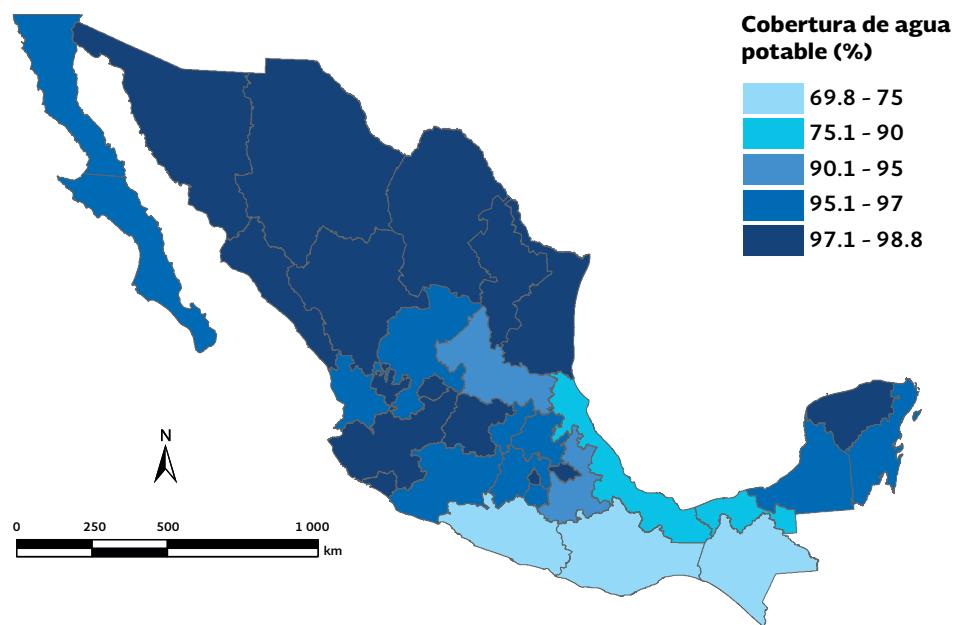
CNA, Semarnat. *Compendio Básico del Agua en México 2001*. México, 2001.

CNA, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 1995 y 1999*. México, 1996 y 2000.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 2000, 2005 y 2011. México, 2001, 2006 y 2011.

Cobertura de agua potable por entidad federativa, 2011

Mapa 6.17

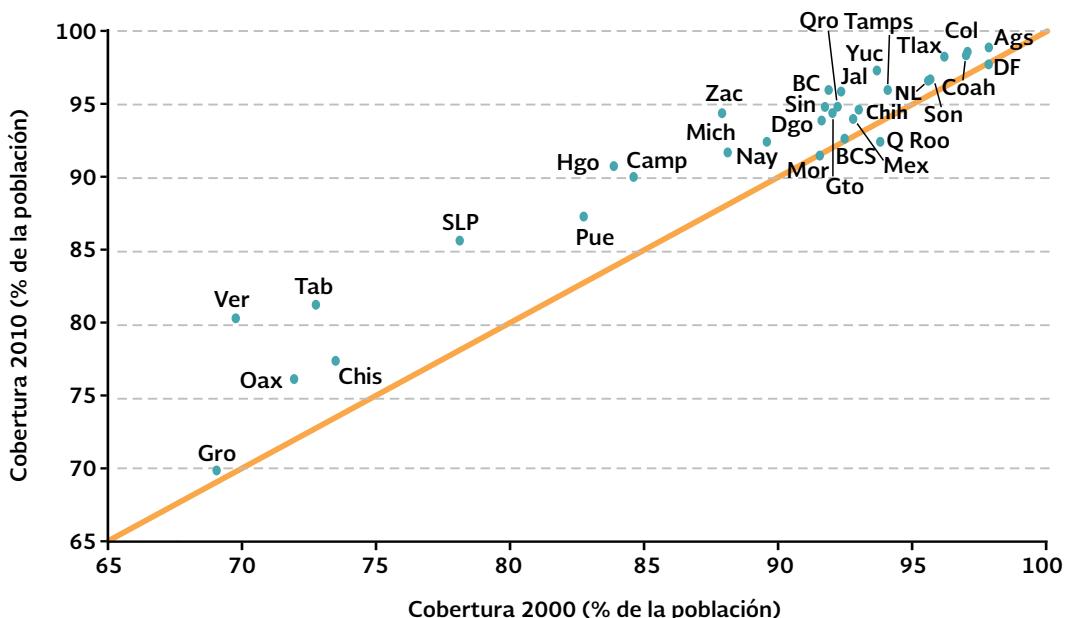


Fuente:

Elaboración propia con bases en:
Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 2012. México. 2012.

Incremento en la cobertura de agua potable por entidad federativa, 2000 - 2010

Figura 6.12



Fuentes:

CNA, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 1999. CNA, México, 2000.
CNA, Semarnat. Compendio Básico del Agua en México 2001. CNA, México, 2000.
Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Ediciones 2001, 2006 y 2011. México. 2002, 2006 y 2011.

población en continuo crecimiento ([Cuadro D3_AGUA06_01](#)).

El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es importante para la salud e higiene de la población, por lo que es necesaria la construcción de instalaciones específicas para potabilizarla o desinfectarla. La importancia de estos procesos radica principalmente en evitar la aparición de enfermedades de origen hídrico a causa del agua contaminada. En 2011 se suministraron, a nivel nacional, 329 496 litros de agua por segundo para consumo humano, de los cuales 321 511 litros (97.6%) fueron desinfectados. Del volumen total suministrado en ese mismo año, 28.7% (94 647 L) pasó además por el proceso de clarificación completa ([Cuadros D3_AGUA07_02](#) y [D3_AGUA07_05](#)).

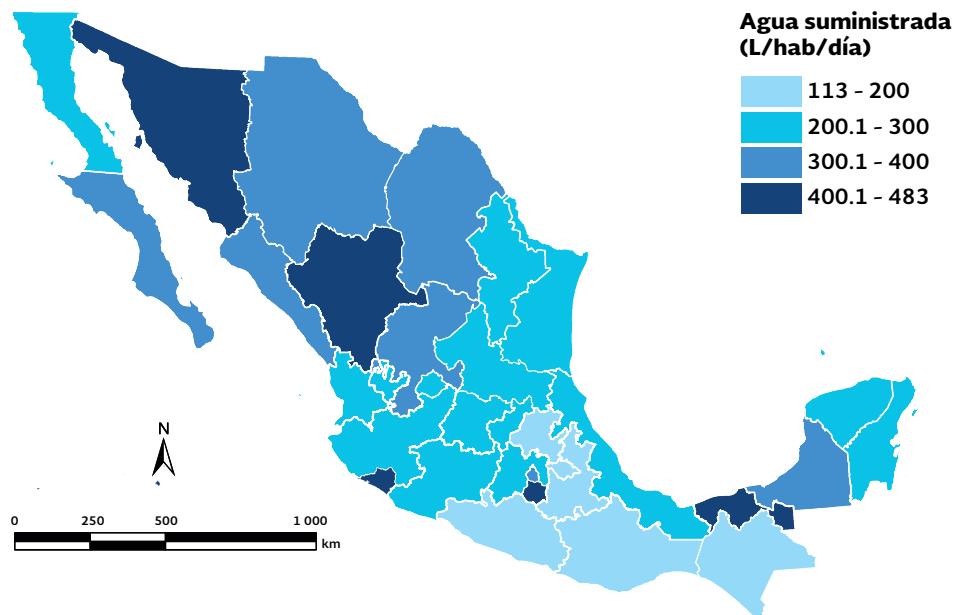
Estas cifras pueden traducirse en que, a nivel nacional, se suministraron alrededor de 252 litros por día por habitante, lo que está por arriba del nivel mínimo recomendable según

la ONU de 50 litros diarios de agua potable por habitante indispensables para cubrir las necesidades mínimas básicas (alimento y aseo) y de los 100 litros para satisfacer las necesidades generales (FNUAP, 2001). No obstante, el valor nacional no es reflejo fiel de la situación a nivel estatal, en 2011, Morelos, Colima, Tabasco, Sonora, Durango y registraron suministros superiores a los 400 litros diarios por habitante, mientras que Oaxaca, Chiapas, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Guerrero no alcanzaron los 200 litros (Mapa 6.18).

En 2011, a nivel nacional, el agua potable suministrada que pasó por el proceso de potabilización completo y no sólo por desinfección fue de 71.3 litros diarios en promedio por persona. Tabasco tuvo el mayor volumen por habitante, con 328 litros diarios de agua potabilizada por persona, seguido por Tamaulipas con 298 litros al día; mientras que estados como Nayarit, Quintana Roo, Tlaxcala y Yucatán carecen actualmente de plantas potabilizadoras en operación.

Suministro de agua potable per cápita por entidad federativa, 2011

Mapa 6.18



Fuente:

Elaboración propia con bases en:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

ALCANTARILLADO

En el mundo, la población que cuenta con servicios de alcantarillado creció de 49 a 61% entre 1990 y 2008 (OMS-UNICEF, 2010). Sin embargo, al igual que en el caso del agua potable existen diferencias muy marcadas a nivel regional: mientras que en América Latina este valor alcanzó, en promedio, 79%, en África Subsahariana no rebasó 31% (UN, 2011). La situación es grave a nivel mundial: las Naciones Unidas estimaron en 2011 que alrededor de 2 600 millones de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de saneamiento mejorados¹⁶.

En México, la cobertura de alcantarillado¹⁷ en 2011 fue de 90.2% (**IB 2.2-11**). Al igual que en la cobertura de agua potable, también en alcantarillado existen diferencias muy marcadas entre las zonas urbanas y rurales: en 2011, las primeras alcanzaron una cobertura de 96.4%, mientras que en las zonas rurales apenas cubrieron al 69.4% de su población (Figura 6.13).

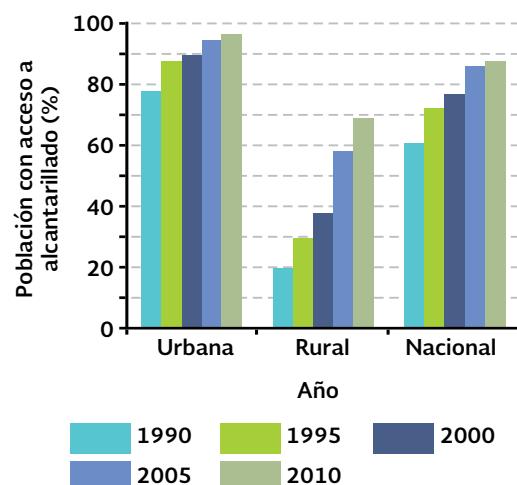
A nivel nacional la cobertura se incrementó 43.8% entre el año 1990 y el 2010. A nivel de localidad, en el mismo periodo, la cobertura en zonas urbanas pasó de 77.8 a 96.3%, mientras que en las zonas rurales siguió siendo considerablemente menor, aunque con un progreso importante, creciendo a más del triple, pues pasó de 19.8 a 68.9% (Figura 6.13; *Cuadro D3_AGUA06_02*)

Si se analiza por el tipo de servicio de alcantarillado, la población que cuenta con un sistema conectado a la red de alcantarillado se incrementó 43.8% entre 1990 y 2010, mientras que la que contaba con fosa séptica casi se duplicó (99%) en el mismo periodo (Figura 6.14). Por otro lado, el porcentaje de la población que no contaba con alguna

Cobertura de alcantarillado¹,

1990 - 2010

Figura 6.13



Nota:

¹ Incluyen las descargas conectadas a una alcantarilla, tanque séptico o letrinas de pozo mejoradas ventiladas.

Fuentes:

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1995, 2000, 2006 y 2011. México. 1995, 2000, 2006 y 2011.

INEGI-Semarnt. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 1997-1998. Estadísticas del Medio Ambiente*. México. 1999. INEGI. México. 2000.

fuente de saneamiento mejorado disminuyó en 27% en ese mismo periodo.

En 2011¹⁸, las entidades federativas del país con coberturas de alcantarillado entre 95.3 y 99.2% fueron Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Jalisco, Morelos, Nuevo León y Tabasco; en contraste, los estados de Oaxaca, Guerrero y Yucatán no alcanzaron el 80% de su población con este servicio (Mapa 6.19).

Aunque entre 2000 y 2010, todas las entidades federativas (con excepción del Distrito Federal) tuvieron un incremento en su cobertura de alcantarillado, sobresalieron por sus esfuerzos Oaxaca, Yucatán, Campeche,

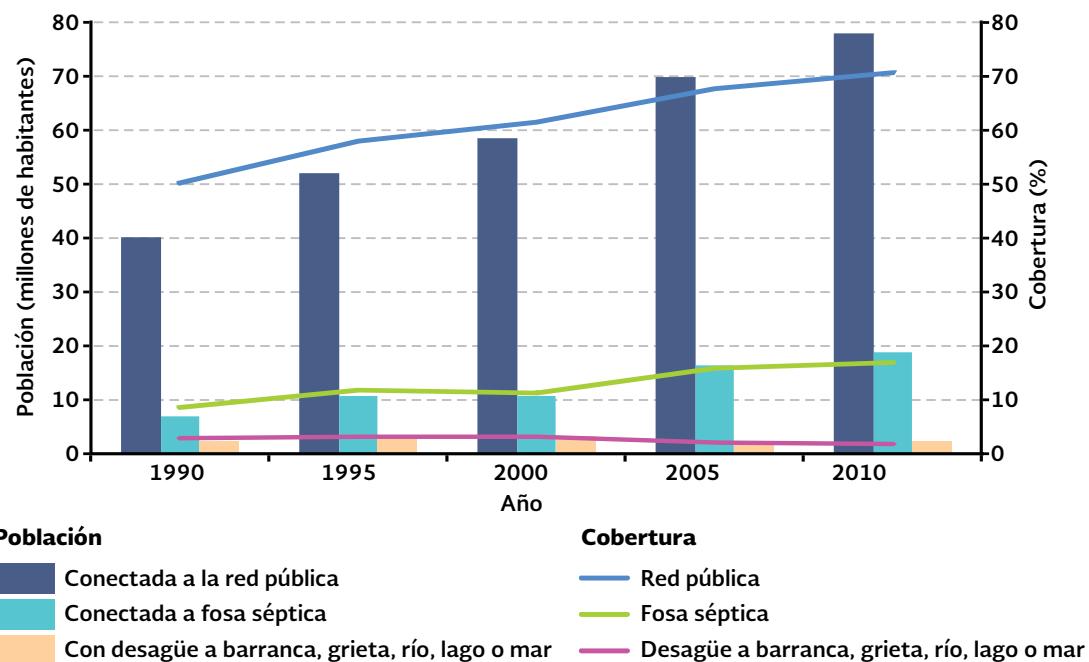
¹⁶ Las instalaciones de saneamiento mejorado incluyen las descargas conectadas a una alcantarilla, tanque séptico o letrinas de pozo mejoradas ventiladas.

¹⁷ Se refiere exclusivamente al porcentaje de la población que habita en viviendas particulares que cuentan con un desagüe conectado a la red pública de alcantarillado o a una fosa séptica. Esta información se determina por medio de los censos y conteos que realiza el INEGI.

¹⁸ Los datos de cobertura de alcantarillado incluyen, además del saneamiento mejorado (población que cuenta con desagüe conectado a la red pública de alcantarillado a una fosa séptica), las descargas a barranca, grieta, lago, río o mar.

Población con acceso a alcantarillado por tipo de drenaje, 1990 - 2010

Figura 6.14



Fuentes:

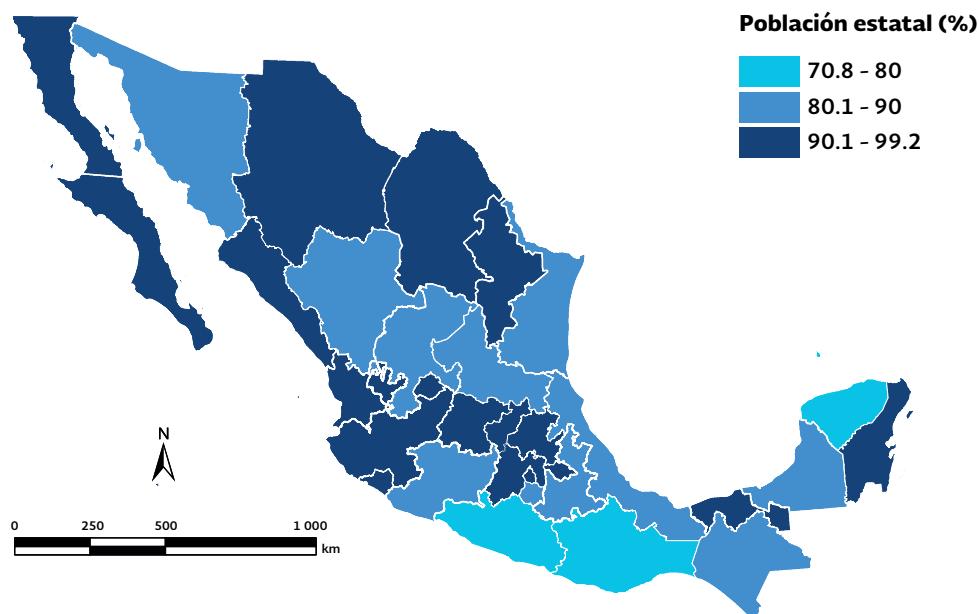
Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Ediciones 2007 y 2008. México. 2007 y 2008.

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2011. México. 2011.

INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011.

Cobertura de alcantarillado¹ por entidad federativa, 2011

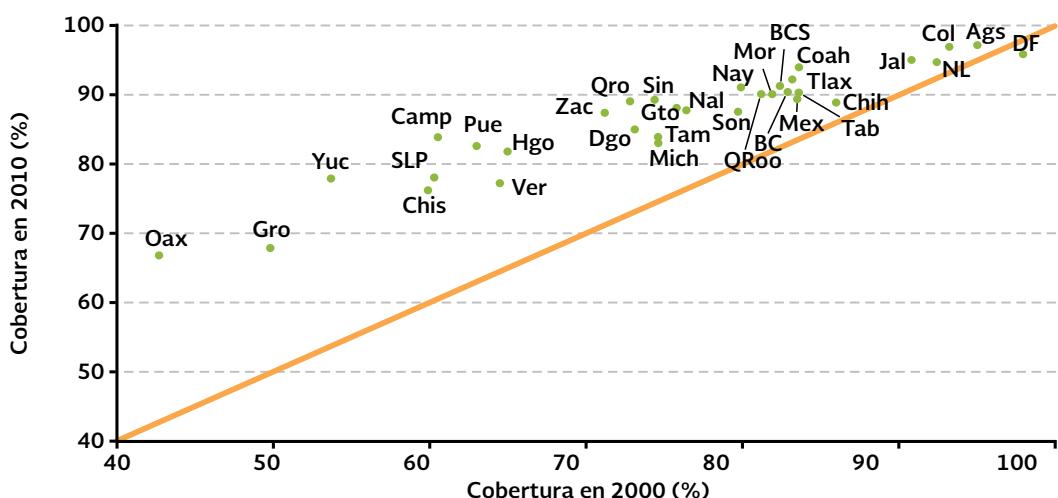
Mapa 6.19



Fuente:

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

Incremento en la cobertura de alcantarillado por entidad federativa, 2000 - 2010 Figura 6.15



Fuentes:

CNA. Compendio Básico del Agua en México 2001. CNA. México. 2001.

Conagua, Semarnat. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Ediciones 2001 y 2011. México, 2001 y 2011.

Guerrero, Puebla, Chiapas, San Luis Potosí e Hidalgo, con incrementos superiores al 25% de su cobertura al inicio del periodo (Figura 6.15; Cuadro D3_AGUA06_04).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En muchos países del mundo es todavía común que una proporción importante del agua residual generada no reciba tratamiento antes de verterse en los cuerpos de agua superficiales. Se estima que a nivel mundial entre 85 y 95% del agua residual se descarga directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir tratamiento previo (FNUAP, 2001; Vörösmarty *et al.*, 2005).

Para la remoción de los contaminantes en las aguas residuales provenientes de las ciudades existen diversos procesos biofísicos de tratamiento. Actualmente, los procesos de tratamiento de aguas residuales municipales en el país incluyen lodos activados, lagunas de estabilización, primario avanzado, lagunas aireadas, filtros biológicos, dual y otros¹⁹. A través de estos procesos, anualmente se logra remover

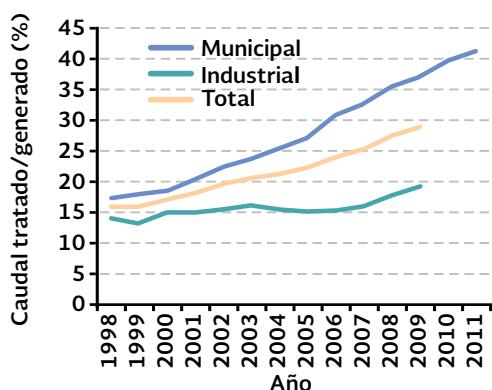
cerca de 0.6 millones de toneladas de DBO₅ que se colectan en el alcantarillado municipal de las 2 millones de toneladas que se generan; estos procesos también son capaces de remover alrededor del 19% de la carga orgánica de las aguas industriales (Conagua, 2011).

En 2011 había en operación 2 289 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y 3 033 plantas para tratamiento de aguas residuales industriales (de las cuales están en operación 2 995, lo que representa el 98.7% del total). Si se considera sólo el caudal municipal generado, en ese año se trató el 41.3%, lo que representa un incremento de 141% respecto a 1998 (es decir, 56.8 m³/s; Figura 6.16). Aunque la cantidad total de agua residual que se trata aún resulta baja, está por encima del promedio de América Latina, que apenas llega al 13%. De estos resultados queda claro que aún muchos de los cuerpos de agua superficiales del país reciben de manera continua, descargas residuales sin tratamiento que ocasionan su contaminación y, en consecuencia, afectaciones a la salud de la población y de las especies que los habitan.

¹⁹ En 2003 dejó de utilizarse el proceso de tanque séptico y se favoreció el uso de lagunas aireadas (CNA, 2004).

Tratamiento del agua residual, 1998 - 2011¹

Figura 6.16



Nota:

¹ La fuente no reporta el dato correspondiente al caudal industrial generado para 2010 y 2011, por lo que tampoco se presenta el caudal tratado total.

Fuentes:

Elaboración propia con base en:
Semarnap-INEGI. *Estadísticas del Medio Ambiente 1999*. México. 2000.
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Ediciones 1998-2012. México. 1998-2012.
Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2010. México. 2010.

A nivel de entidad federativa es muy variable el porcentaje de aguas residuales que reciben tratamiento respecto al caudal generado: en 2011, Nuevo León, Baja California y Aguascalientes dieron tratamiento a más del 90% del agua residual que generaron, mientras que entidades como Campeche y Yucatán trataron menos del 5% (Mapa 6.20; IC 11).

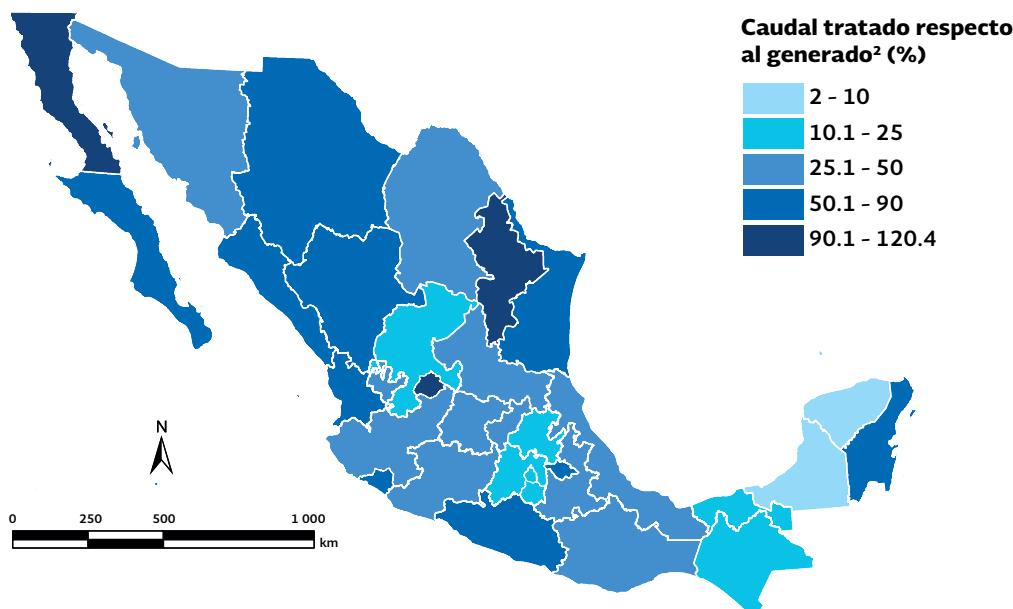


En 2011, del agua municipal tratada en el país que recibió tratamiento secundario, el 54.7% ($53.4 \text{ m}^3/\text{s}$) lo hizo mediante lodos activados y 14.3% ($13.9 \text{ m}^3/\text{s}$) por medio de lagunas de estabilización. Dichos tratamientos tienen una eficiencia de entre 80 y 90% para la remoción de DBO_5 (Figura 6.17; Cuadro D3_AGUA07_093).

Si se analiza por habitante, en 2011 a nivel nacional se trajeron en promedio 73.5 litros diarios de agua residual, con marcadas diferencias entre entidades: Aguascalientes fue

Tratamiento de aguas residuales municipales por entidad federativa, 2011¹

Mapa 6.20



Notas:

¹ Para las entidades de Nuevo León y Aguascalientes el caudal de agua residual tratada excede el 100% debido a que existen usuarios con fuentes de abastecimiento propias que descargan al alcantarillado municipal.

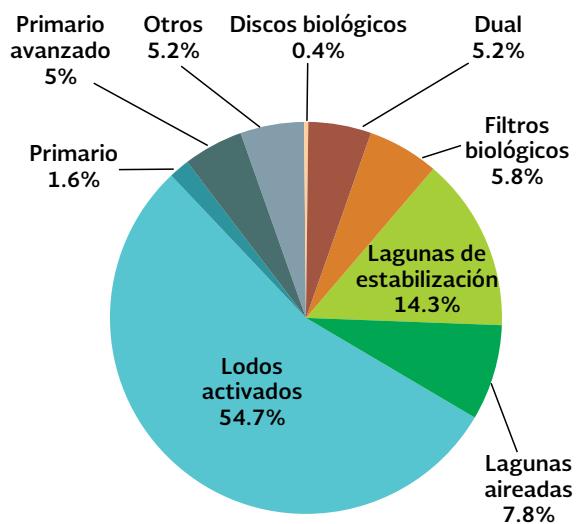
² Los caudales generado, colectado y tratado fueron estimados en función de los siguientes parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

Agua municipal residual tratada según proceso, 2011

Figura 6.17



Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

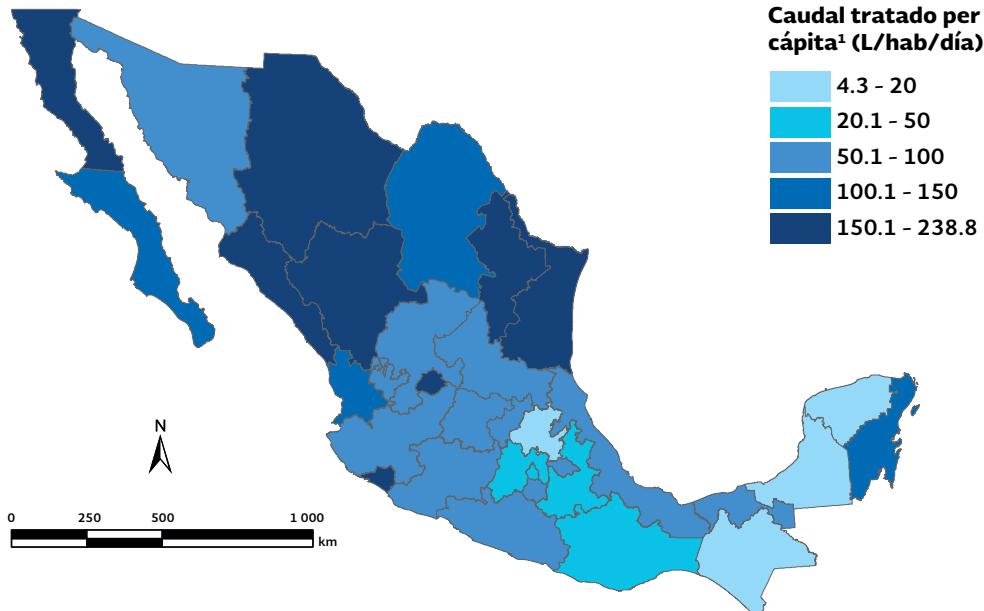
la que trató el mayor caudal por habitante al día (238 L), seguido por Nuevo León (186 L), Durango (175 L), Colima (175 L) y Chihuahua (160 L); por otro lado, los estados que trataron el menor caudal per cápita al día fueron Hidalgo (12 L) y Yucatán (4 L; Mapa 6.21).

Otro indicador del esfuerzo que hacen los estados para tratar el agua es la relación entre el líquido suministrado a la población y el agua tratada. Las entidades que procesan en mayor proporción el agua que suministran a su población son Aguascalientes, Nuevo León, Baja California, Nayarit y Tamaulipas, con una relación mayor a 50%; en contraste, Yucatán y Campeche no alcanzan el 5 % (Mapa 6.22).

Respecto al tratamiento de aguas residuales de origen industrial, en 2010 las plantas de tratamiento industrial del país procesaron 63 600 L/s y se removieron 1.3 millones de toneladas de DBO₅. Las entidades que

Tratamiento de agua residual municipal per cápita por entidad federativa, 2011

Mapa 6.21



Notas:

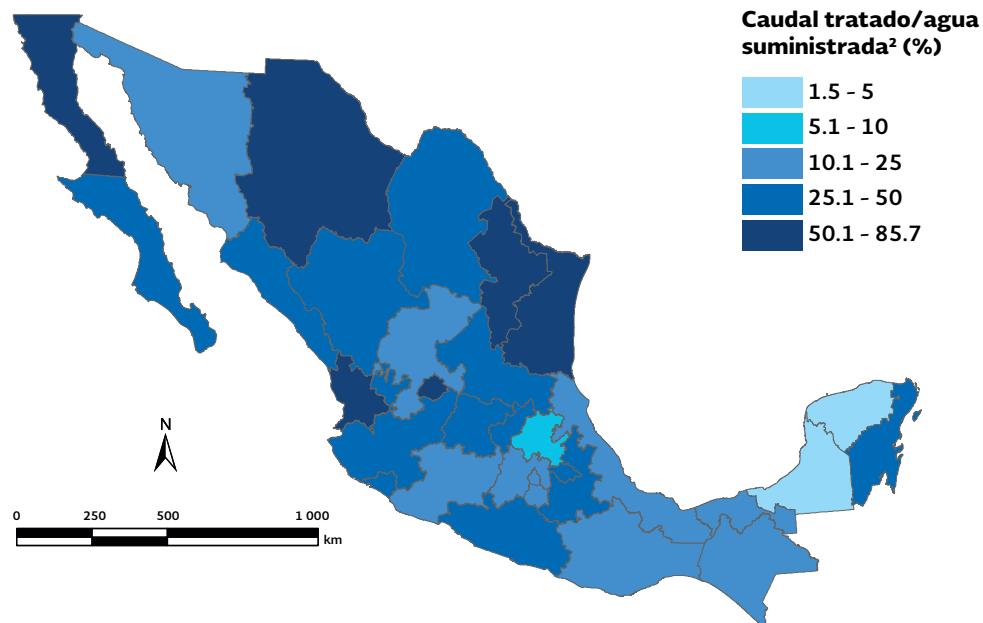
¹ Los caudales generado, colectado y tratado fueron estimados en función de los parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

Tratamiento de agua residual municipal con respecto al agua suministrada por entidad federativa, 2011¹

Mapa 6.22



Notas:

¹ Para las entidades de Nuevo León y Quintana Roo el caudal excedente de agua residual tratada se debe a que existen usuarios con fuentes de abastecimiento propias que descargan al alcantarillado municipal.

² Los caudales generado, colectado y tratado fueron estimados en función de los parámetros: población, suministro de agua, aportación y cobertura.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

trataron en 2010 el mayor volumen de aguas residuales generadas de origen industrial fueron Sonora ($27.34 \text{ m}^3/\text{s}$ cerca del 43% del total de aguas residuales de tipo industrial que se trataron a nivel nacional), Veracruz ($8.70 \text{ m}^3/\text{s}$), Tamaulipas ($6.11 \text{ m}^3/\text{s}$), Chiapas ($3.34 \text{ m}^3/\text{s}$) y Nuevo León ($2.99 \text{ m}^3/\text{s}$; Mapa 6.23; [Cuadro D3_AGUA07_09](#)).

En cuanto a los sistemas de tratamiento existen tres tipos o niveles, de los cuales el más utilizado es el secundario, que se aplica en 1 869 plantas (Figura 6.18). Los sistemas de nivel primario son los más sencillos en la limpieza del agua (los tratamientos incluyen procesos físicos como el cribado, la flotación o eliminación de grasas y sedimentación); su función es limpiar el agua de partículas cuyas dimensiones puedan obstruir los procesos siguientes. El nivel de tratamiento secundario limpia el agua de las impurezas

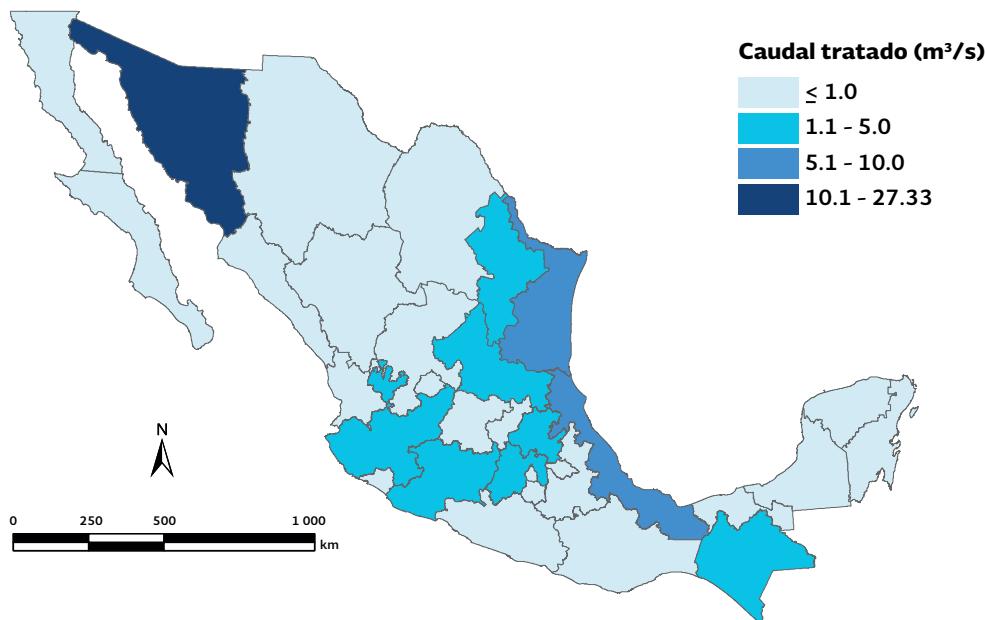
cuyo tamaño es mucho menor a las que se captan por decantación y rejillas, para lo que se emplean métodos mecánicos y biológicos combinados (estos sistemas son muy diversos y dependen de factores como el clima para hacer la selección adecuada; como los sistemas de precolación y los anaeróbicos). Finalmente el tratamiento terciario incluye procesos biológicos, físicos y químicos.

SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Aunque tradicionalmente los temas relativos a la disponibilidad y calidad del agua y los ecosistemas acuáticos (tanto continentales como oceánicos) se tratan separadamente, están íntimamente

Tratamiento de agua residual industrial con respecto al agua suministrada por entidad federativa, 2010

Mapa 6.23

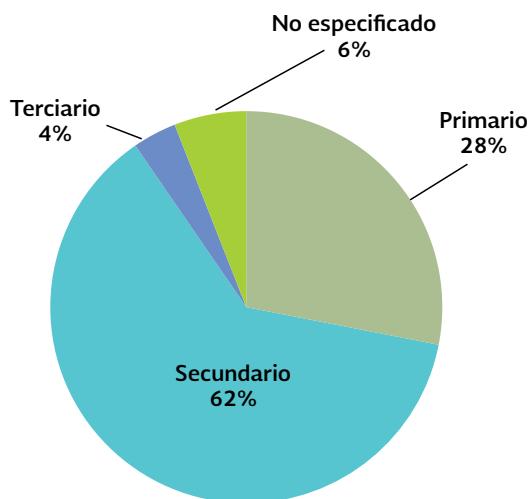


Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2011. México. 2011.

Plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial por nivel de tratamiento, 2011

Figura 6.18



Fuente:

Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.

relacionados. Los ecosistemas acuáticos, tanto los dulceacuícolas como los costeros y oceánicos, participan de manera importante en el ciclo hidrológico, actuando como los reservorios más importantes del agua y como las fuentes primarias del vapor que alcanza la atmósfera y posteriormente regresa a ellos en forma de precipitación y escurrimientos. En este sentido, actúan directa e indirectamente sobre los balances hídricos locales y regionales, es decir, sobre la disponibilidad del agua. Paralelamente, funcionan como receptores y filtros de los contaminantes que traen consigo las aguas que escurren y llegan a ellos, purificándolas y contribuyendo a mejorar su calidad.

En el territorio mexicano se encuentran representados una amplia variedad de ecosistemas dulceacuícolas: desde los que se desarrollan en ríos, lagos, presas y estanques, hasta aquellos que se hallan en las zonas terrestres y tienen una gran influencia hídrica, como los tulares, popales y petenes. A todos

ellos se suman los ecosistemas acuáticos de aguas salobres, como los manglares, además de los netamente marinos, como los arrecifes de coral, las praderas de pastos marinos y los ecosistemas pelágicos, por mencionar sólo algunos de ellos. Una descripción completa de estos ecosistemas, de su importancia biológica y de su situación actual puede encontrarse en el Capital Natural de México²⁰, publicado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio, 2009).

Los ecosistemas naturales, tanto acuáticos como terrestres, proveen multitud de bienes y servicios ambientales indispensables para la vida diaria y el desarrollo de las sociedades. Estos bienes y servicios son resultado, finalmente, de la biodiversidad y de los procesos ecológicos que se llevan a cabo de manera natural y que mantienen en funcionamiento a los ecosistemas. Aunque el agua dulce para el consumo humano es uno de los servicios ambientales más importantes que los ecosistemas acuáticos continentales proveen, existen otros no menos importantes (Daily *et al.*, 1997; Wilson y Carpenter, 1999; MEA, 2005; Tablas 6.4 y 6.5). Por ejemplo, los ríos y lagos sirven como medio de transporte humano y de mercancías, para la generación de energía eléctrica, el abasto de alimentos (peces, moluscos y crustáceos, entre otros) y la irrigación de las tierras agrícolas. En el caso de los servicios no cotizados en el mercado, debemos destacar el papel que tienen, por ejemplo, los humedales como reguladores del control de las avenidas que resultan de los eventos de precipitación intensa (lo que evita o reduce las pérdidas humanas y económicas derivadas de las inundaciones), el mantenimiento de su biodiversidad (que incluye no sólo las especies que se emplean como alimento o como fuentes de materiales, sino también a las que sostienen a los ecosistemas), el reciclaje de nutrientes

(por medio de los ciclos biogeoquímicos), la purificación del agua de los desechos domésticos e industriales y la regulación del clima a nivel local y regional.

Aun cuando las estimaciones del valor económico de los servicios ambientales son escasas, debido principalmente a la dificultad que implica su cálculo, se han hecho algunas estimaciones (Tabla 6.6). En el caso de México, por ejemplo, se ha encontrado que la producción en las pesquerías de peces y cangrejos en el Golfo de California está relacionada directamente con la abundancia local de manglares (Aburto-Oropeza *et al.*, 2008).

PESCA

Por su valor económico y volumen de producción, los productos pesqueros son algunos de los bienes más importantes obtenidos de los ecosistemas de las aguas continentales y los océanos a escala global. El pescado aporta alrededor del 20% de la ingesta anual de proteínas animales a cerca de 3 000 millones de personas en el mundo (FAO, 2012). Las estimaciones preliminares de la pesca mundial para 2011, basadas en los informes de algunos de los principales países pesqueros, indican que la producción (que incluyó tanto a la captura continental y marina como a la acuacultura) alcanzó poco más de 154 millones de toneladas.

En el caso particular de México, en el periodo 1990-2011 la producción pesquera anual (considerando tanto la captura como la acuacultura) fue de 1.47 millones de toneladas en promedio (Figura 6.19), lo que lo colocaba como uno de los veinte mayores productores en el mundo, con cerca del 1.1% de la captura total para 2009 (FAO, 2010). Considerando la acuacultura, México se ubica en el lugar 26 en la lista de los mayores productores a nivel mundial (Conapesca, Sagarpa, 2010).

²⁰ Disponible en versión PDF en la dirección electrónica: www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html.

Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas acuáticos¹

Tabla 6.4

Servicios ambientales	Dulceacuícolas					Marinos costeros			
	Ríos y canales permanentes y estacionales	Lagos y reservorios permanentes	Estuarios y marismas	Manglares	Lagunas costeras y estanques salobres	Zona intermareal	Kelp	Pastos marinos	Arrecifes coralinos
Servicios de regulación									
Regulación atmosférica y del clima: regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera	•	●	●	●	●	•	•	●	●
Balance hidrológico: recarga de acuíferos, almacenamiento de agua para la agricultura e industria	●	●	•		•				
Control de la contaminación: retención, recuperación y remoción de nutrientes y contaminantes	●	●	●	●	●	?	•	•	
Protección contra la erosión: retención de suelos	●	•	●	●	•		•	•	
Eventos naturales: control de inundaciones y protección contra tormentas	●	●	●	●	•	•	•	●	●
Servicios culturales									
Espiritual e inspiracional: bienestar y significado religioso	●	●	●	•	●	●	•	•	●
Recreación: turismo y actividades recreativas	●	●	●	•	•	●	•		●
Valor estético	●	●	●	•	●	●			●
Educación e investigación científica	●	●	•	•	•	•	•	•	•

Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas acuáticos¹ (conclusión)

Tabla 6.4

Servicios ambientales	Dulceacuícolas					Marinos costeros			
	Ríos y canales permanentes y estacionales	Lagos y reservorios permanentes	Estuarios y marismas	Manglares	Lagunas costeras y estanques salobres	Zona intermareal	Kelp	Pastos marinos	Arrecifes coralinos
Servicios de provisión									
Alimento: pesca comercial y deportiva, frutos y granos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Agua dulce: agua para consumo humano y agrícola	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fibra, madera, combustible: leña, turba, etc.	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Productos bioquímicos	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Recursos genéticos: medicinas, genes para biotecnología y especies ornamentales	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Servicios de soporte									
Biodiversidad	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Formación de suelo: retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reciclaje de nutrientes y fertilidad	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Polinización: sustento para polinizadores	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nota:									
¹ Se refiere a la magnitud del servicio ambiental que brindan los ecosistemas en función de su superficie. La escala es: ● baja, ● media, ● alta y ? no conocida. Las celdas vacías denotan que el servicio ambiental no es aplicable al ecosistema en cuestión. La información en la tabla representa un patrón global, por lo que diferencias locales y regionales son posibles respecto a la magnitud relativa de su importancia.									
Fuente: MEA. <i>Ecosystems and human Well-being: Current state and trends</i> . Volume 1. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D. C. 2005.									

Importancia de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas marinos oceánicos¹

Tabla 6.5

Servicios ambientales	Ecosistemas marinos			
	Plataforma continental interna	Plataforma externa y talud	Montañas y cordilleras marinas	Profundidades oceánicas
Servicios de provisión				
Alimento: pesca comercial y deportiva, frutos y granos	●	●	●	●
Fibra, madera, combustible: leña, turba, etc.	●	●		
Recursos genéticos: medicinas, genes para biotecnología y especies ornamentales	●			
Servicios de regulación				
Regulación atmosférica y del clima: regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera	●	●		●
Servicios culturales				
Cultura y esparcimiento	●			
Servicios de soporte				
Biodiversidad	●	●	●	●
Reciclaje de nutrientes y fertilidad	●	●	●	●
Nota: ¹ La escala de importancia es: ● muy importante; ○ de alguna importancia. Las celdas vacías denotan que el servicio ambiental no es aplicable al ecosistema en cuestión. La información en la tabla representa un patrón global, por lo que diferencias locales y regionales son posibles respecto a la magnitud relativa de su importancia.				
Fuente: Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.). <i>Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends</i> . Volume 1. Island Press. Washington. 2005.				

Humedales: valor promedio estimado de sus bienes o servicios ambientales

Tabla 6.6

Bien o servicio ambiental	Valor económico estimado (dólares/ha/año)
Control de inundaciones	464
Pesca recreativa	374
Turismo y recreación	492
Purificación de agua	288
Biodiversidad	214
Hábitat para la reproducción o cría	201
Cacería recreativa	123
Suministro de agua	45
Materiales	45
Leña	14

Fuente:

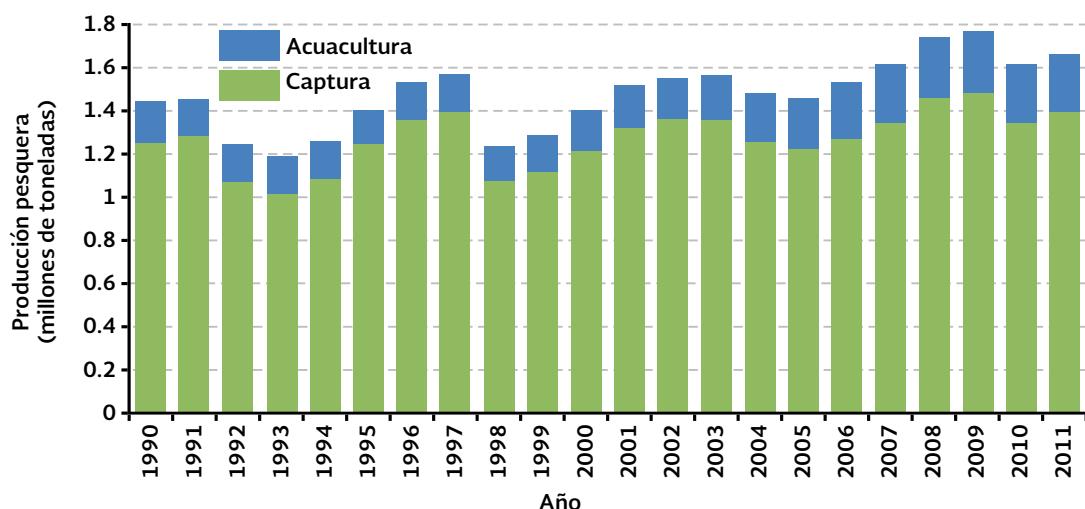
Schuyt, K. y L. Brander. *Living waters: Conserving the source of life. The economic value of the world's wetlands.* WWF. Switzerland. 2004.

La producción pesquera nacional se basa actualmente en la captura marina, aun a pesar del rápido crecimiento que la acuacultura ha registrado en los últimos años. En 2011, el 84.2% de la producción correspondió a captura (marina y continental) y el restante 15.8% a la acuacultura (IB 8-1). Si se revisa la producción por litoral, entre 1990 y 2011 los estados del Pacífico aportaron cerca del 76.5% de la producción nacional, con alrededor de 1.1 millones de toneladas anuales en promedio; los estados del litoral del Golfo y el Caribe produjeron 21.5% del total (equivalente a 316.4 mil toneladas anuales; Figura 6.20). Los estados sin litoral apenas alcanzaron el 2.6% del total de la producción pesquera nacional, con poco más de 41 mil toneladas anuales en promedio. En 2011 la mayor producción pesquera fue en el Litoral Pacífico con 1.38 millones de toneladas (83.1%), seguida por el Golfo y Mar Caribe con 239 mil toneladas (14.4%; Figura 6.20; Sagarpa, 2005-2011; Cuadro D2_PESCA01_01).

A nivel estatal las entidades que en 2011 aportaron los mayores volúmenes de la

Producción pesquera y acuícola nacional, 1990 - 2011

Figura 6.19

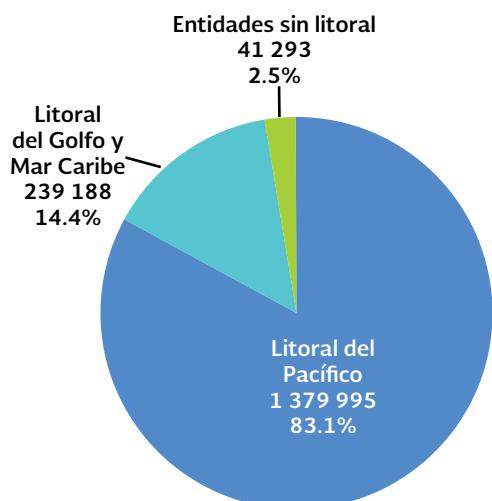


Fuentes:

Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca 2000-2002.* Sagarpa, México, 2001-2002.
Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca, 2003-2011.* México, 2004-2012.
Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca 1997-1999.* Semarnap, México, 1998-2000.

Producción pesquera según origen, 2011

Figura 6.20



Fuente:
Conapesca, Sagarpa. Anuario Estadístico de Pesca 2011. Sagarpa, México, 2012.

producción pesquera nacional fueron: Sonora con 610 706 toneladas (36.8%), Sinaloa con 337 863 toneladas (20.4%), Baja California Sur con 151 186 toneladas (9.1%), Baja California con 135 619 toneladas (8.2%)

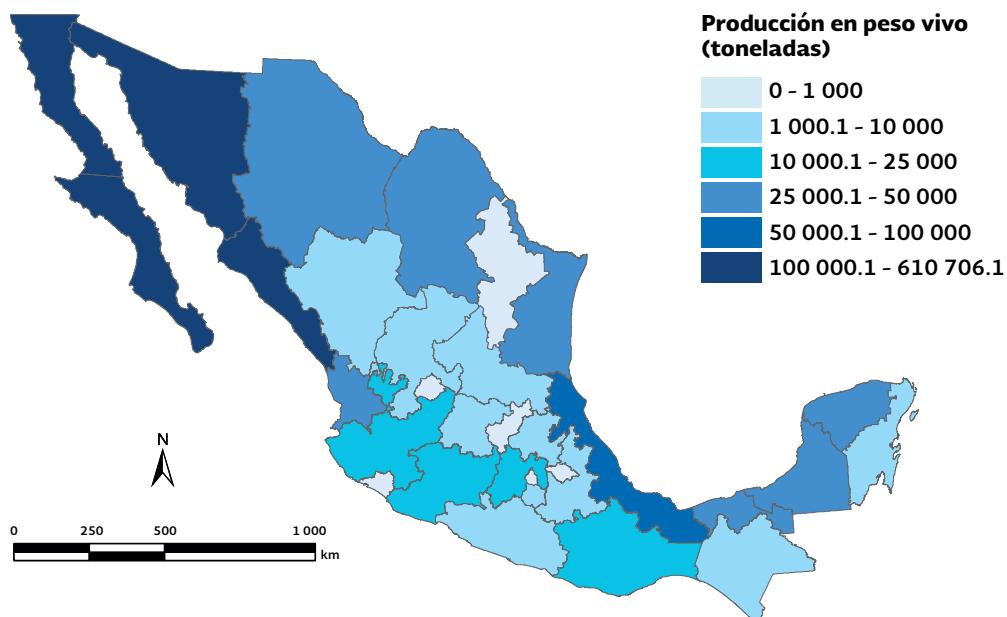
y Veracruz con 79 268 toneladas (4.8%); lo que representa poco más del 79% de la producción nacional (Mapa 6.24; Cuadro D2_PESCA01_01).

Sí se examina la contribución de las pesquerías a la producción nacional (incluyendo la captura y la acuacultura), en 2011 cerca de la mitad (48%) de la producción (794 566 toneladas) fue aportada por tres pesquerías: sardina, túnidos y camarón. Entre éstas, la producción de sardina fue la más importante, contabilizando más de 684.1 mil toneladas, lo que equivale al 86% del total aportado por estas tres pesquerías.

La flota pesquera nacional se incrementó 10.1% entre 1990 y 2011, pasando de 74 572 a 82 069 embarcaciones. En este último año, la mayor parte de la flota la integraban las embarcaciones de pesca ribereña (96.1%), mientras que las de altura representaban apenas el 3.9% (IB 8-2). De la flota pesquera nacional, la camaronera es muy superior a las demás: representa 59.6% del total de la flota

Producción pesquera por entidad federativa, 2011

Mapa 6.24



Nota:

¹ Incluye volúmenes de captura y de producción acuacícola.

Fuente:

Conapesca, Sagarpa. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2011. México. 2012.

de altura, mientras que las embarcaciones de pesca atunera y la de captura de anchoveta y sardina apenas alcanzan poco más del 7.7%. En 2011 había 1896 embarcaciones camaroneras, 70% en el Pacífico y el resto en el litoral del Golfo y El Caribe (1 326 y 570 barcos, respectivamente). Como parte de la flota, en el litoral Pacífico había también 234 embarcaciones para la pesca de escama²¹, 107 para la del atún y 108 para la sardina. En el Golfo y Mar Caribe se tenían 805 para escama y 31 para atún en ese mismo año.

Por entidad federativa, en 2011 la mayor flota de pesca de altura correspondía a los estados con mayor producción pesquera: Sinaloa (759 embarcaciones), Sonora (516) y Baja California (256) en el Pacífico; en el litoral del Golfo y Mar Caribe, Yucatán (664), Tamaulipas (267) y Campeche

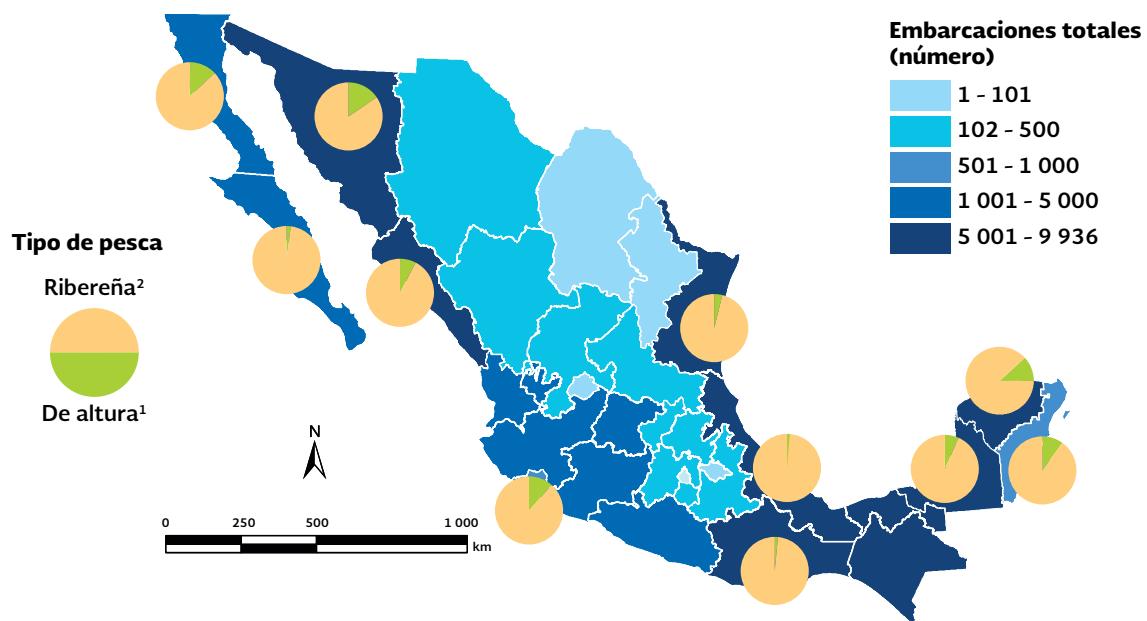
(257) fueron las entidades con las flotas de altura más importantes (Mapa 6.25). Con respecto a la edad de las embarcaciones, la mayoría de ellas (poco más del 86%) tienen una antigüedad mayor a 20 años (60% de las cuales incluso tienen más de 30 años) y menos del 2% tienen 10 años o menos.

ESTADO DE LAS PESQUERÍAS

La captura pesquera puede convertirse en una actividad altamente perjudicial para los recursos pesqueros cuando se realiza de manera inadecuada (FAO, 2009). Algunas de las consecuencias más importantes de la sobreexplotación pesquera son la pérdida de la productividad y su extinción comercial (Jackson *et al.*, 2001). Ello resulta del efecto que la captura tiene en las poblaciones de las especies objetivo: disminución de su tamaño

Embarcaciones registradas por entidad federativa y por tipo de pesca, 2011

Mapa 6.25



²¹ Se refiere a una pesquería muy diversa, la cual abarca recursos asociados tanto a la línea de costa y ambientes estuarinos, como a las aguas continentales (ríos, lagos y presas).

Fuente:

Conapesca, Sagarpa. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2011. México, 2012.

poblacional y alteraciones de su estructura de tamaños y condición reproductiva (García *et al.*, 2003; Godø *et al.*, 2003). Los efectos anteriores afectan el potencial de recuperación y la viabilidad a largo plazo de las poblaciones de las especies pesqueras.

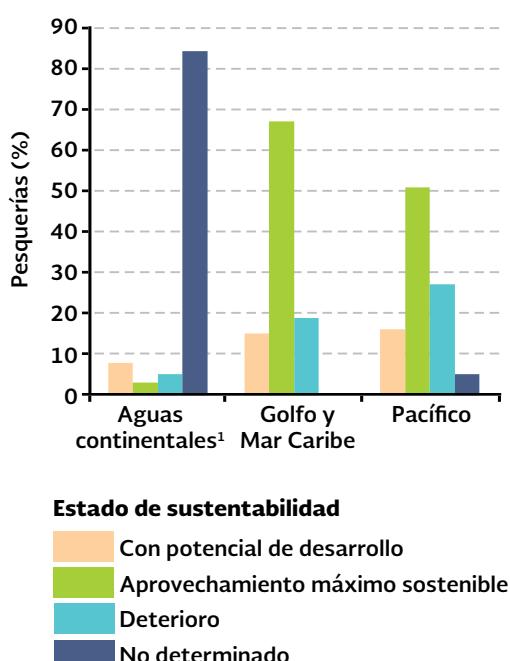
En México, a partir de la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2004), la cual está basada en las generalidades de las pesquerías (zonas de captura, equipos y artes de pesca utilizados), así como diversos indicadores (p. e., de captura y esfuerzo de captura), se determinó el estatus que guardaban las diversas pesquerías del país. Así, en el Golfo de México y en el Pacífico, 19 y 27% de las pesquerías, respectivamente, se encontraban en condiciones de deterioro, 67 y 51% en condiciones de aprovechamiento máximo sostenible, y sólo alrededor del

15 y 16% tenían potencial de desarrollo (Figura 6.21). Respecto a los cuerpos de agua continentales, en 84% no estaba determinado su estado, 8% tenían potencial de desarrollo, 3% aprovechamiento máximo sostenible y 5% estaban en deterioro (DOF, 2004; **IB 8-5**). 

Otro método indirecto para evaluar el estado de las pesquerías es por medio del cálculo de sus rendimientos. El rendimiento pesquero relativo se define como la captura que se obtiene en un periodo particular por unidad de esfuerzo de captura, estandarizado con respecto a un año base (FAO, 2000). Si se expresa como porcentaje, un valor del indicador superior al 100% sugiere que el recurso puede continuar desarrollándose, mientras que un valor inferior puede significar el deterioro de la pesquería. En general, en México las pesquerías de escama y de atún muestran para el periodo comprendido entre 1990 y 2008 valores decrecientes de rendimiento, lo que sugiere un deterioro de dichas pesquerías; pese a que en los dos años posteriores su rendimiento se incrementó 45% (pasó de 42 a 67); por el contrario la de camarón muestra, a pesar de las oscilaciones, valores de rendimientos crecientes que apuntan a que aún tiene potencial de explotación; mientras que la de sardina-anchoveta que también con fluctuaciones tuvo un importante incremento hasta 2009 y en 2010 disminuyó 28% y se recuperó 5% en el último año (Figura 6.22; **IB 8-4**). 

Estado de sustentabilidad de los recursos pesqueros, 2004

Figura 6.21



Estado de sustentabilidad

- Con potencial de desarrollo
- Aprovechamiento máximo sostenible
- Deterioro
- No determinado

Nota:

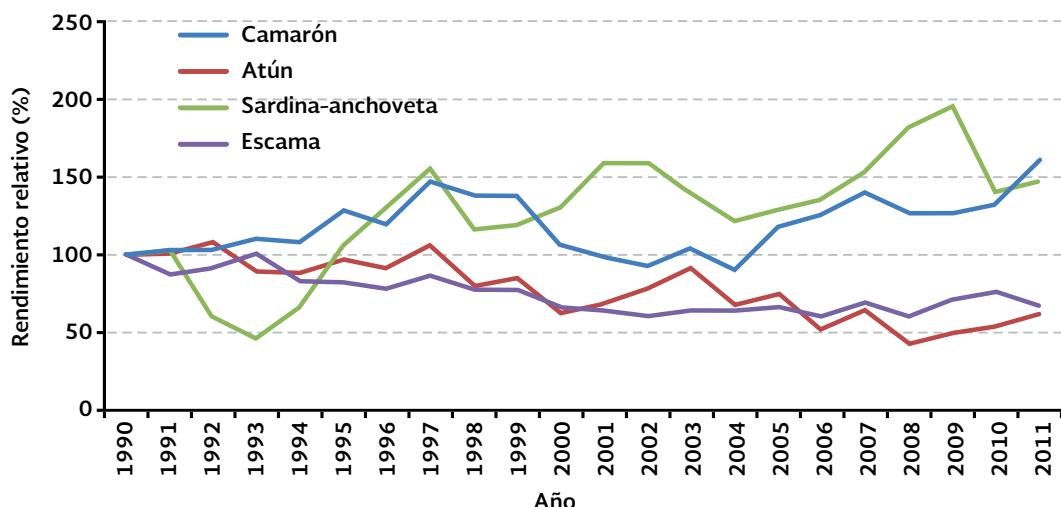
¹ Los datos para las aguas continentales no se refieren a pesquerías, sino a cuerpos de agua.

Fuente:

DOF. Carta Nacional Pesquera 2004. INP, Sagarpa. Diario Oficial de la Federación. 2004 (15 de marzo).

OTROS IMPACTOS DE LA PESCA

Además del deterioro de las propias pesquerías, la pesca puede ejercer un impacto muy severo sobre la biodiversidad costera y oceánica. Uno de los problemas más graves que ocasiona es la captura incidental de organismos sin interés comercial, la llamada fauna de acompañamiento (integrada principalmente por mamíferos, peces, reptiles e invertebrados), debido básicamente a la falta de selectividad de las artes tradicionales.

**Fuentes:**Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2003-2011*. México. 2004-2012.

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación-Conapesca, Sagarpa. Octubre 2007.

Semarnap. *Anuario Estadístico de Pesca 1995, 1996, 1997, 1998, 1999*. México. 1996-2000.Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de Pesca 2000-2011*. México. 2001-2012.

En el caso de la pesca del camarón en México, por ejemplo, la fauna de acompañamiento la integran alrededor de 600 especies de peces, moluscos, equinodermos y crustáceos (DOF, 2010). Aunque resulta difícil estimar con precisión el daño que la pesca incidental ha ocasionado en los ecosistemas marinos, tan sólo en el año 2000 el descarte de fauna de acompañamiento alcanzó 6 400 toneladas en el Pacífico, mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe fue de 1 846 toneladas. Para el 2010, el volumen total de fauna de acompañamiento reportado fue de 5 601 toneladas; 4 344 en el Pacífico y 1 257 en el Golfo y El Caribe (DOF, 2010).

Algunas artes de pesca también perturban el medio marino y destruyen el hábitat de muchas especies. Las redes de arrastre barren el lecho marino en busca de camarones y otras especies del fondo, lo que causa que pastos marinos, esponjas, corales y erizos, entre otros organismos, sean capturados, lastimados o desprendidos del lecho oceánico. Con la pérdida de los microhabitats creados por esponjas y corales

se pierden, además, sitios de reclutamiento y alimentación para otras especies, lo que afecta tanto a sus poblaciones como al flujo y la dinámica de las cadenas tróficas. Aun cuando no se tienen datos periódicos del área que anualmente se barre en la búsqueda del camarón y otras especies del fondo, en el año 2000 se estimó que tan sólo en el Pacífico mexicano la superficie arrastrada fue de casi 550 000 kilómetros cuadrados (cerca de dos veces el estado de Chihuahua), mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe pudo sumar los 187 000 kilómetros cuadrados (Sagarpa, 2007).

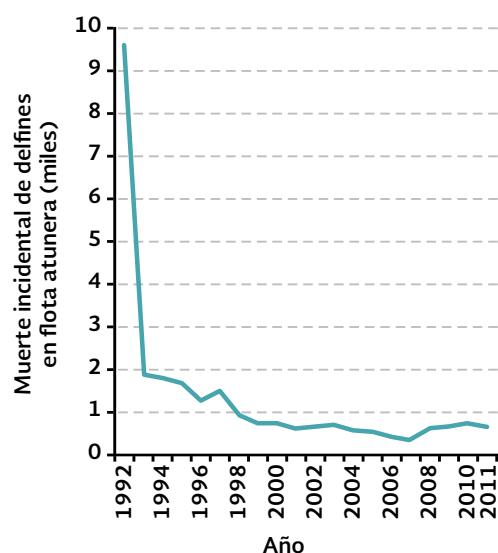
Otras pesquerías, como la del atún, pueden capturar especies de vertebrados amenazadas, entre las que se encuentran cetáceos, tiburones y tortugas marinas ([Cuadro D2_PESCA04_02](#)). De ahí que esta pesquería esté bajo una supervisión meticulosa por parte de técnicos observadores que garanticen el cumplimiento normativo nacional e internacional y permitan reducir la captura incidental, principalmente de los delfines asociados.

Los esfuerzos realizados para la protección de estos mamíferos se iniciaron a mediados de los años setenta, y actualmente están en marcha dos programas (uno nacional y otro internacional) de reducción sucesiva de la mortalidad incidental de estos animales. Ambos se basan en el monitoreo de la mortalidad incidental de delfines por medio de observadores desde 1991. La Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-002-PESC-1999 actualiza la legislación anterior en materia de protección de delfines en el marco del Acuerdo sobre el Programa Internacional para la Conservación de Delfines (AIDCP, por sus siglas en inglés) y de la Comisión Interamericana del Atún Tropical (CIAT) e incorpora el “límite de mortalidad incidental de delfines” (LMD) por barco como instrumento básico de control.

En México, durante las últimas dos décadas, la muerte incidental de delfines por la actividad de la flota atunera ha disminuido 92.7%,

**Muerte incidental de delfines,
1992 - 2011**

Figura 6.23



Fuentes:

Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación, Sagarpa, Conapesca. Abril de 2011.
Dirección General de Planeación, Programación y Evaluación, Sagarpa, Conapesca. Marzo de 2012.
Subsecretaría de Pesca, Semarnap. México. 1999.

pasando de poco más de 9 560 delfines en 1992 a 701 en 2011 (Figura 6.23; **IB 6.4.1-6**).  Dado el avance que se ha realizado en el país en la reducción de la mortalidad de los delfines, en mayo de 2012 la Organización Mundial de Comercio (OMC) publicó el fallo final sobre el etiquetado “dolphin safe” que Estados Unidos mantiene sobre el atún mexicano, con el fin de levantar el embargo atunero a nuestro país.

REFERENCIAS

Aburto-Oropeza, O., E. Ezcurra, G. Danemann, V. Valdez, J. Murray y E. Sala. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of National Academy of Sciences* 105: 10456-10459. 2008.

Camargo, J. A. y A. Alonso. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas* 16: 98-110. 2007.

CAN, (Comunidad Andina), SG, PNUMA e IRD. *El fin de las cumbres nevadas. Glaciares y cambio climático en la Comunidad Andina*. 2007.

Carpenter, S., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley y V. H. Smith. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Issues in Ecology* 3: 1-12. 1998.

CNA, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2004. México 2004.

Conabio. *Capital Natural de México. Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2009. Disponible en: www.biodiversidad.gob.mx/pais/capitalNatMex.html. Fecha de consulta: junio de 2012.

- Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2007. Conagua. México. 2007.
- Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2008. Conagua. México. 2008.
- Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. Conagua. México. 2011.
- Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2011. México. 2011.
- Conagua, Semarnat. *Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Edición 2012. México. 2012.
- Conapesca, Sagarpa. *Anuario Estadístico de acuacultura y pesca 2010*. México. 2010.
- Daily G. C., S. Alexander, P. R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P. A. Matson, H. A. Mooney, S. Postel, S. H. Schneider, D. Tilman y G. M. Woodwell. *Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems*. *Issues in Ecology* 2: 1-18. 1997.
- DOF. *Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CEC-CCA-001/89*. Diario Oficial de la Federación. México. 1989 (2 de diciembre).
- DOF. *Modificación a la 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"*. Diario Oficial de la Federación. México. 2000 (20 de octubre).
- DOF. *Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación*. México. 2004 (15 de marzo).
- DOF. *Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación*. México. 2010 (diciembre de 2010).
- Falkenmark, M. y J. Rockström. *Balancing water for humans and nature: The new approach in Ecohydrology*. Reino Unido. 2004.
- FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2006*. Roma. 2007. Disponible en: www.fao.org/docrep/009/A0699s/A0699s00.htm.
- FAO. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008*. Roma. 2009. Disponible en: www.fao.org/docrep/011/i0250s/i0250s00.htm.
- FAO. *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2010*. Roma. 2010. Disponible en: www.fao.org/docrep/013/i1820s/i1820s00.htm.
- FAO. *El Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012*. Roma. 2012. Disponible en: www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf.
- FAO-Aquastat. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO. 2012. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/data/. Fecha de consulta: julio de 2012.
- FNUAP. *El estado de la población mundial 2001. Huellas e hitos: población y cambio del medio ambiente*. Fondo de Población de las Naciones Unidas. 2001.
- García, S. M., A. Zerbi, C. Aliaume, T. Do Chi y G. Lasserre. *The ecosystem approach to fisheries*. FAO Fisheries Technical Report. Rome. 2003.
- Gerencia de Aguas, Subdirección General Técnica, Conagua, Semarnat. México. 2013.
- Godø, O. R., A. Rijnsdorp, U. Dieckmann y M. Heino. *The effects of fishing on the genetic composition of living marine resources*. ICES Annual Report for 2002. Copenhagen. 2003.
- INEGI. *Censo de Población y Vivienda 2010*. México. 2011.
- INP, Sagarpa. Octubre 2007.

- Jackson, J. B. C., M. X. Kirby, W. H. Berger, K. A. Bjorndal, L. W. Botsford, B. J. Bourque, R. H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J. A. Estes, T. P. Hughes, S. Kidwell, C. B. Lange, H. S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C. H. Peterson, R. S. Steneck, M. J. Tegner y R. R. Warner. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293: 629-638. 2001.
- Larraín, S. Glaciares: Reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad y los ecosistemas en Chile. En: Paz, A. M. y T. Montecinos (Eds.). *Glaciares Andinos, recursos hídricos y cambio climático: Desafíos para la Justicia Climática en el Cono Sur*. MásGráfica. Chile. 2011.
- Limnological Institute SB RAS, s/a. Disponible en: <http://lin.irk.ru/eng/about.htm>. Fecha de consulta: mayo de 2012.
- MEA. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. 2005.
- Milana, J. P. y A. Güel. Diferencias mecánicas e hídricas del permafrost en glaciares de rocas glacigénicos y criogénicos obtenidas de datos sísmicos en El Tapado, Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 310– 325. 2008.
- OCDE. *Análisis del desempeño ambiental*: México. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Francia. 1998.
- OECD. *Water. Performance and Challenges in OECD Countries*. Environmental Performance Reviews. 2003
- OMS. *Estadísticas sanitarias mundiales 2011*. OMS. Francia. 2011.
- OMS y UNICEF. *Progresos en materia de saneamiento y agua: informe de actualización 2010*. OMS. Francia. 2010.
- ONU. *Objetivos del Desarrollo del Milenio. Informe 2011*. Nueva York. 2011.
- PNUD. *Informe sobre desarrollo humano. Más allá de la escasez. Poder, pobreza y la crisis mundial del agua*. Mundi Prensa Libros. Madrid. 2006.
- PNUMA-GEMS. *Programa del Agua Water Quality Outlook*. PNUMA Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente, Programa del Agua, Instituto Nacional de Investigación sobre el Agua. Burlington, Ontario. 2007.
- PNUMA e INE, Semarnat. *GEO México 2004. Perspectivas del Medio Ambiente en México*. México. 2004.
- Rosegrant, M. W., X. Cai y S. A. Cline. *Panorama global del agua hasta el año 2025. Cómo impedir una crisis inminente*. International Food Policy Research Institute. Washington. 2004.
- Servicio Meteorológico Nacional, Conagua, Semarnat. 2012.
- Silk, N. y K. Ciruna (Eds.). *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. The Nature Conservancy. Boulder, Colorado. 2004.
- Subdirección General de Programación, Conagua, Semarnat. México. 2012.
- UN. *A Framework for Action on Water and Sanitation*. WEHAB Working Group. 2002. Disponible en: www.un.org/esa/sustdev/publications/wehab_water_sanitation.pdf. Fecha de consulta: junio de 2012.
- UN. *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. Third edition. United Nations. N. Y. 2007.
- UNDP, UNEP, WB y WRI. *World Resources 2000-2001*. WRI. 2000.
- UNEP. *GEO 4. Global Environmental Outlook. Environment for development*. United Nations Environment Programme. Malta. 2007.

Van Everdingen, R. (Ed.). *Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms*. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology. 1998. Disponible en: <http://nsidc.org/fcdc/glossary>. Fecha de consulta: junio de 2012.

Vörösmarty, C., C. Lévêque, C. Revenga, R. Bos, C. Caudill, J. Chilton, E.M. Douglas, M. Meybeck, D. Prager, P. Balvanera, S. Barker, M. Maass, C. Nilsson, T. Oki, C. A. Reidy, F. Rijsberman, R. Costanza y P. Jacobi. Fresh Water. En: Hassan, R., R. Sholes y N. Ash. *Ecosystems and human well-being: Current State and Trends*, Volumen 1. Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press. Washington, Covelo. London. 2005.

WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*. Volumen 1. 3rd. Ed. World Health Organization. Geneva. 2004.

WHO. *Water, sanitation and hygiene links to health. Facts and Figures updated November 2004*. World Health Organization. Disponible en: www.who.int/water_sanitation_health/publications/en/. Fecha de consulta: junio de 2012.

WHO y UNICEF. *Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: A Mid-term Assessment of Progress*. WHO. Geneva, New York. 2004.

WHO y UNICEF. *Joint Monitoring Programme (JMP) for water supply and sanitation*. 2008. Disponible en: www.wssinfo.org/en/welcome.html. Fecha de consulta: junio de 2012.

Wilson, M. A. y S. R. Carpenter. Economic valuation of freshwater ecosystems in the United States 1971-1997. *Ecological Applications* 9: 772-783. 1999.

WRI. Water: Critical shortages ahead? En: WRI, UNEP, UNDP, y WB. *World Resources 1998-99: Environmental change and human health*. 1999. Disponible en: http://pubs.wri.org/pubs_content_text.cfm?ContentID=1030. Fecha de consulta: febrero de 2012.