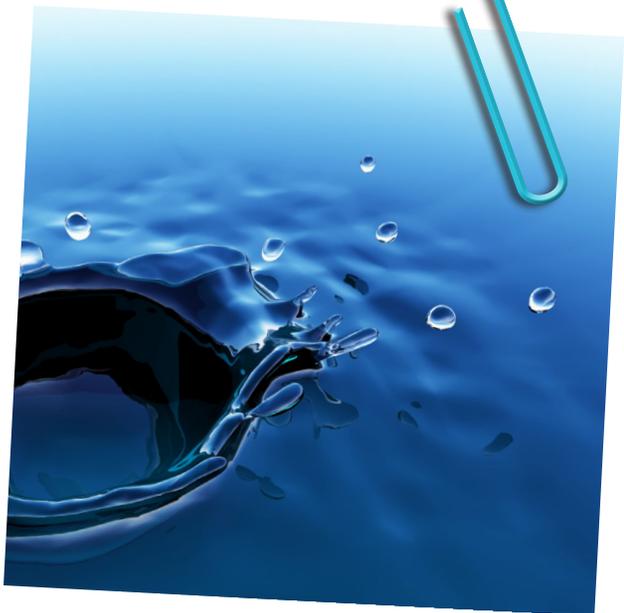


Capítulo 6. Agua





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 la actividad agrícola e industrial. En las últimas décadas y con el objetivo de producir más alimentos, energía y proporcionar servicios a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente y no ha podido ser cubierta. Ejemplo de ello es que en el año 2007 alrededor de 2 mil 600 millones de personas en el mundo no tuvieron acceso a servicios relacionados con el agua, entre ellos el aprovisionamiento de agua potable (UNEP, 2007). La situación podría ser más grave en el futuro ya que, según pronósticos, alrededor del año 2025 cerca de mil 800 millones de personas vivirán en países o regiones con completa escasez de agua, y dos terceras partes de la población mundial podrían estar sujetas a condiciones de estrés hídrico (UNEP, 2007).

La disponibilidad no es el único problema relacionado con el agua. Su contaminación es el otro aspecto importante, ya que agrava el problema de la escasez. Las aguas de los cuerpos

superficiales y subterráneos se contaminan por las descargas sin tratamiento de las aguas municipales e industriales, lo que además de perjudicar a los ecosistemas naturales y a su biodiversidad, disminuye e impide su uso para consumo humano. Se estima que en los países en vías de desarrollo se vierten a los ríos u otras corrientes superficiales cerca de 90% de las aguas residuales sin previo tratamiento, lo que acarrea problemas de salud: 80% de las enfermedades en los países en desarrollo tiene su origen en el agua contaminada, así como la muerte anual de 2.2 millones de personas (de las cuales 50% son niños menores de 5 años) y de 400 millones de casos de malaria (citado en Carabias y Landa, 2005).

A pesar de que el tema del agua se ha enfocado principalmente hacia las necesidades humanas, resulta esencial destacar su importancia como elemento clave para el funcionamiento y el mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad. En ausencia del 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 actuales. Por todo ello, la humanidad enfrenta también, a través de la pérdida y deterioro de los ecosistemas (causados, entre otros factores por la deforestación, la sobreexplotación y contaminación de acuíferos y aguas superficiales, la degradación de los ecosistemas acuáticos y la sobreexplotación pesquera), la escasez y contaminación del agua.

El tema del agua es hoy día uno de los más importantes de la agenda ambiental mundial. Además de su importancia para el funcionamiento de los ecosistemas y el mantenimiento de la biodiversidad, se relaciona íntimamente con aspectos sociales relativos a la salud, la seguridad alimentaria y humana, la subsistencia y el desarrollo socioeconómico.

EL AGUA DULCE EN EL MUNDO

Recursos hídricos mundiales

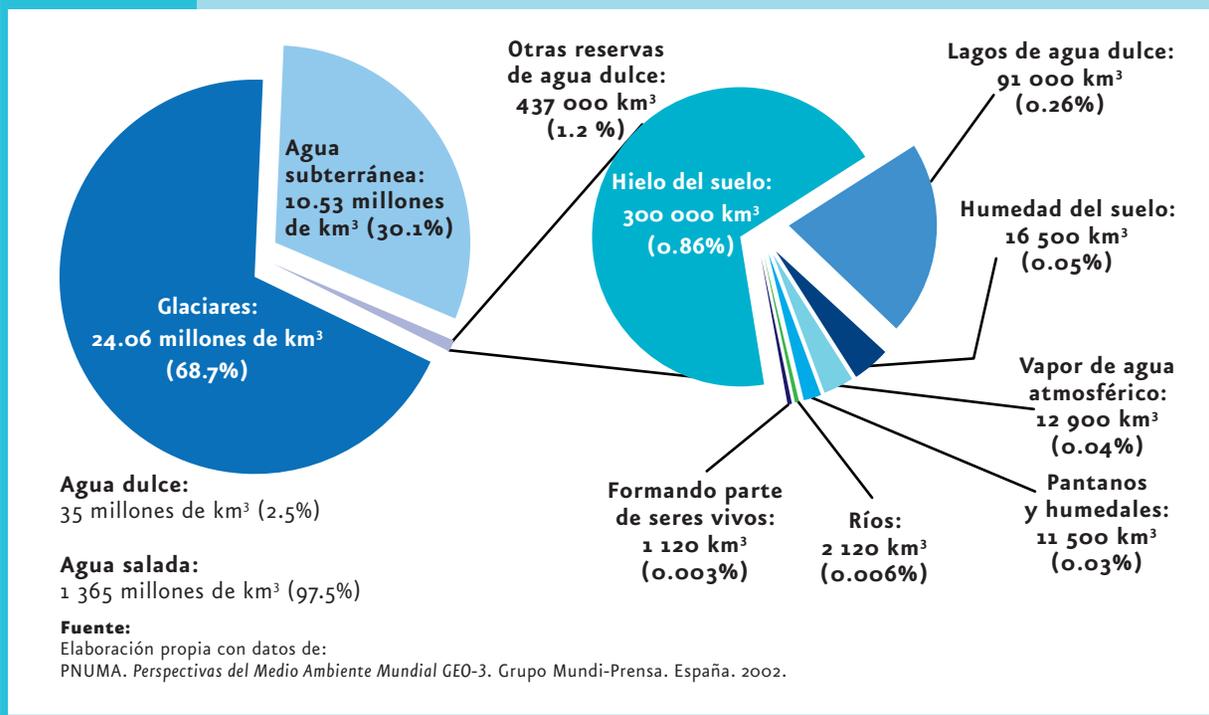
Se ha estimado que existen alrededor de mil 400 millones de kilómetros cúbicos de agua en el planeta, de los cuales sólo 2.5% es agua dulce. Este pequeño porcentaje se localiza principalmente en los ríos, lagos, glaciares, mantos de hielo y acuíferos del planeta (Figura 6.1). Casi tres cuartas partes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

Casi tres cuartas partes del agua dulce del planeta están contenidas en los glaciares y mantos de hielo; de ese total alrededor de 97% es inaccesible para su uso.

El agua subterránea representa 96% del agua dulce no congelada del planeta. Esta fuente 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. Por su parte, aunque las aguas superficiales (es decir, lagos, embalses, ríos, arroyos y humedales) retienen un pequeño porcentaje del total de los recursos de agua dulce de la Tierra (0.3%), representan cerca de 80% de las aguas superficiales renovables anualmente. Los lagos del mundo almacenan el mayor volumen de agua dulce superficial (91 mil km³), más de 40 veces el volumen presente en ríos y arroyos (2 120 km³) y aproximadamente 9 veces el contenido en los pantanos y humedales. No debe dejarse de lado el agua contenida en la atmósfera que, aunque no representa un volumen comparable a los mencionados anteriormente, es muy importante por su papel en la regulación del clima.

Figura 6.1

Reservas de agua dulce en el mundo



DISPONIBILIDAD DEL AGUA

Balance de agua regional

La distribución de la precipitación y de la evapotranspiración varía notablemente entre regiones del planeta, lo que se traduce en distintos volúmenes de recursos hídricos disponibles en cada una de ellas. Sudamérica y Asia son las regiones con mayores recursos hídricos renovables, mientras que Oceanía y el Caribe poseen los menores volúmenes (Figura 6.2).

En México, el volumen promedio de agua que se obtiene por precipitación cada año es de mil 488 kilómetros cúbicos, pero la mayor parte, mil 079 km³ (72.5%),

El agua verde abastece los ecosistemas terrestres y la agricultura de temporal a través de la humedad del suelo y también es agua verde la que se evapora de las plantas y las superficies acuáticas a la atmósfera en forma de vapor de agua.

Las aguas azules están directamente relacionadas con los ecosistemas acuáticos y fluyen en masas de agua superficial y en acuíferos.

regresa a la atmósfera por evapotranspiración (llamada “agua verde” por Falkenmark y Rockström, 2004; Cuadro D3_AGUA01_04). Además del agua que ingresa por precipitación, México recibe por importaciones 49.744 km³ de los ríos

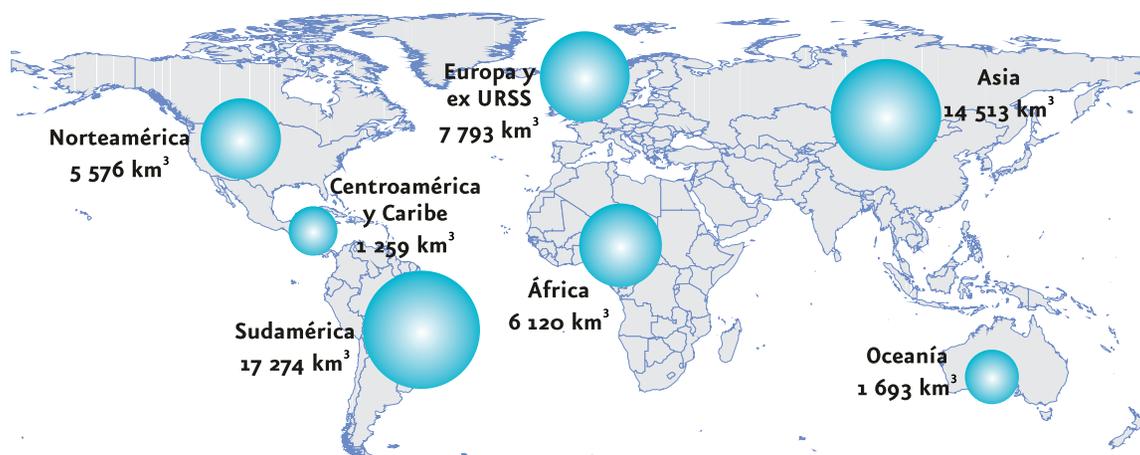
de las fronteras norte y sur y exporta 0.432 km³ del río Bravo a Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales firmado entre los dos países en 1944. De esta forma, el balance general muestra que la

disponibilidad media natural de México es de 458 kilómetros cúbicos de agua en promedio al año (Figura 6.3); valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara

con el de Estados Unidos (3 mil 51 km³), Canadá (2 mil 902 km³) o Brasil (8 mil 233 km³; FAO, 2007).

Figura 6.2

Reservas de agua dulce en el mundo por región

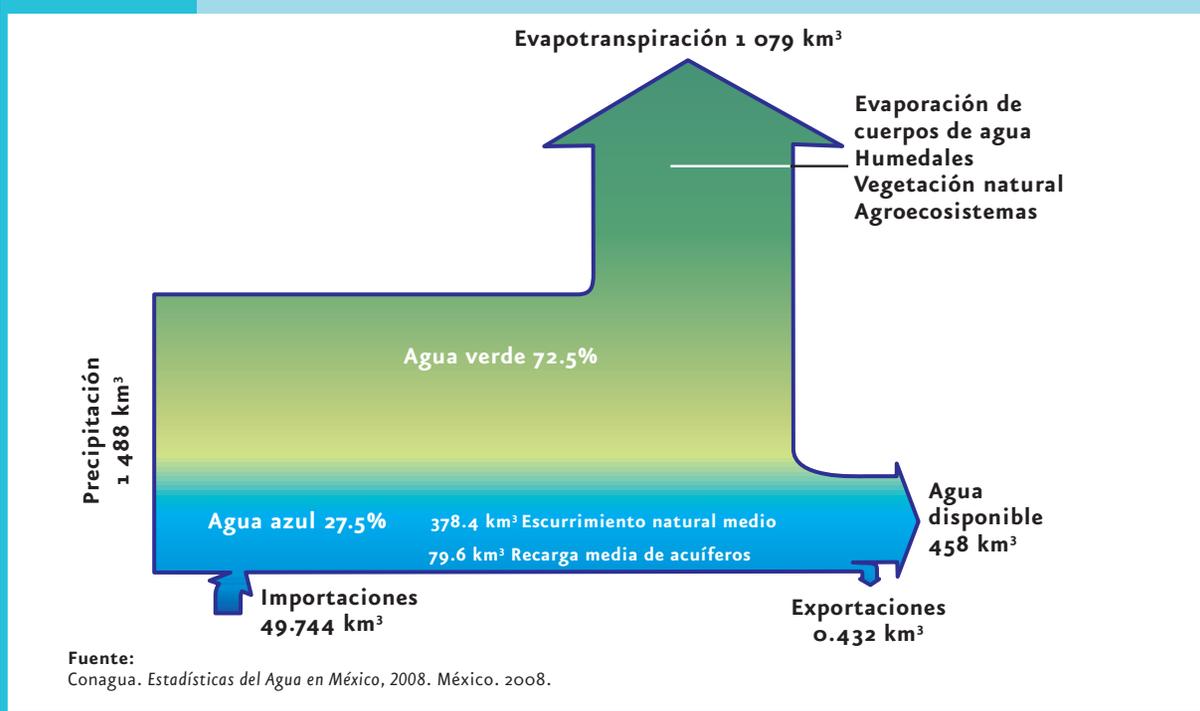


Fuente:

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/main/index.stm Fecha de consulta 01-12-2008.

Figura 6.3

Balance de agua en México, 1971 - 2000



Variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad del agua

En México, la precipitación promedio anual durante el periodo 1971-2000 fue de 760 milímetros, un volumen que se considera abundante (CNA, 2008). Sin embargo, esta cifra resulta poco representativa de la situación hídrica a lo largo del país. En estados como Baja California Sur, apenas se registran 161 milímetros de lluvia en promedio al año, mientras que en Tabasco la precipitación alcanza los 2 mil 102 milímetros (*Cuadro D3_AGUA01_01*).

A nivel de las regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), las diferencias también son claras (Mapa 6.1). Las regiones I, II, III y VI, localizadas en el norte del país y que ocupan 45% del territorio nacional, reciben 26.5% de la precipitación; en contraste las regiones administrativas IV, V, X, XI y XII, situadas

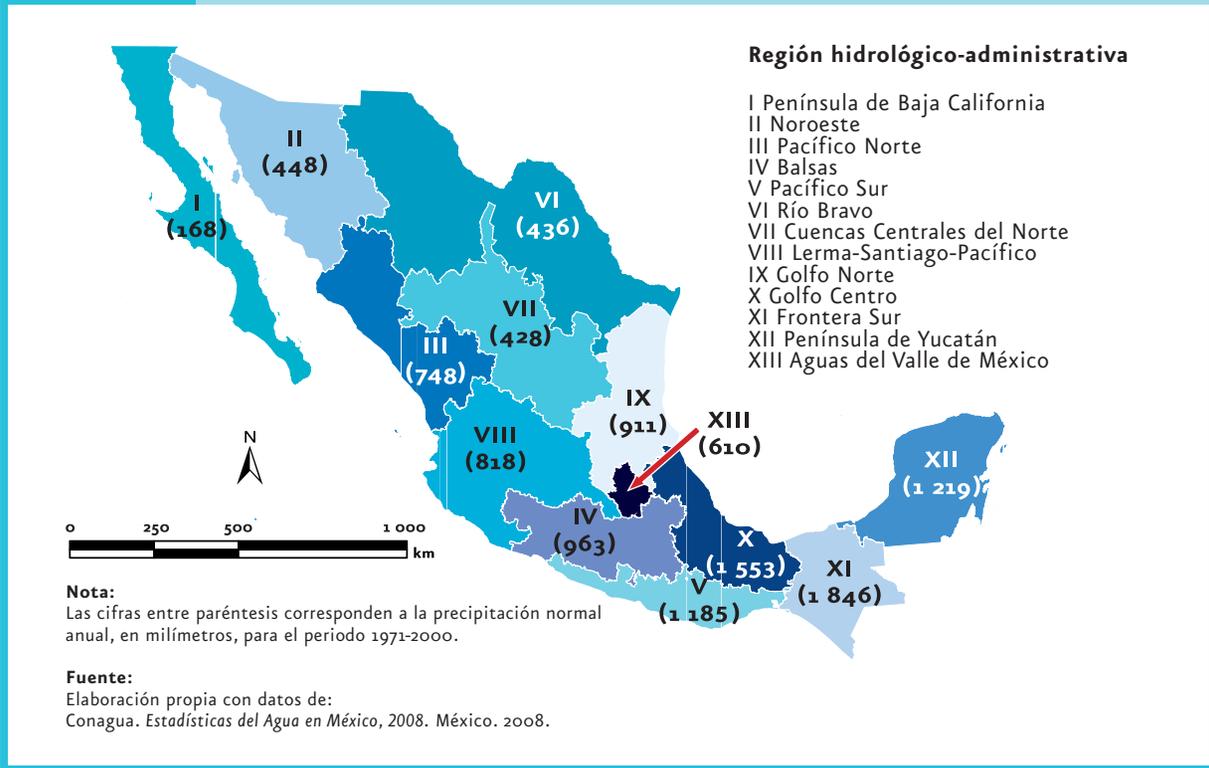
en la parte sur, que ocupan 27.6% del territorio reciben en promedio 48.7% de la lluvia (*Cuadro D3_AGUA01_02*; Tabla 6.1).

El escurrimiento superficial¹ también muestra variaciones importantes en la geografía del país. Del volumen promedio de agua disponible, 83% (378.4 km³) escurre superficialmente y el resto (79.6 km³) se incorpora a los acuíferos. En la región de la Frontera Sur escurre cerca de 37% del total nacional, encauzado básicamente por los ríos Grijalva y Usumacinta, mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán el escurrimiento superficial es mínimo y cercano a 1%. Esto responde, en el caso de Baja California, a su escasa precipitación, y en Yucatán a su relieve plano y sustrato permeable que no facilitan la formación de escurrimientos superficiales de importancia (Tabla 6.2; *Cuadro D3_AGUA01_08*). No obstante, en la planicie yucateca se favorece la recarga de las aguas subterráneas.

¹El escurrimiento superficial se refiere al flujo de agua proveniente de la lluvia, del derretimiento de nieve u otras fuentes sobre la superficie terrestre.

Mapa 6.1

Precipitación normal anual por región hidrológico-administrativa 1971 - 2000



La mayor parte de los escurrimientos superficiales del país se canalizan por los grandes ríos: los siete principales (Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Pánuco, Coatzacoalcos, Balsas, Santiago y Tonalá) captan, en conjunto, 65% del escurrimiento superficial (*Cuadro D3_AGUA01_05*).

De la misma manera que los valores promedio de la precipitación y el escurrimiento no reflejan la heterogeneidad espacial del país, tampoco muestran las variaciones temporales. En 2004, por ejemplo, la precipitación fue casi 15% superior al promedio del periodo 1971-2000, mientras que en 1994, 1996, 1997, 1998 y 2002 estuvo por debajo de los 760 milímetros. De hecho, considerando a todo el país entre 1994 y 2002, la precipitación promedio estuvo por debajo de la media histórica, mientras que entre los años 2003 y 2007 fue superior a la media histórica de 1971-2000 (Figura 6.4).

Figura 6.4 Precipitación anual, 1994 - 2007

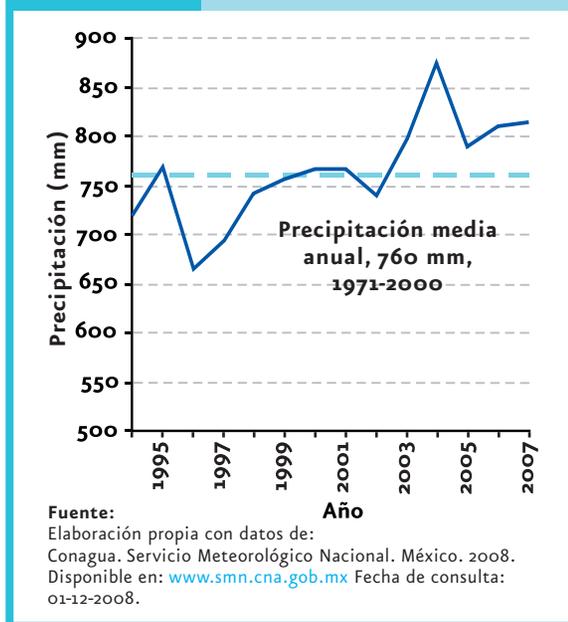


Tabla 6.1
Contribución a la precipitación y superficie de las regiones hidrológico-administrativas, 1971 - 2000

Región hidrológico-administrativa		Superficie		Precipitación normal anual 1971-2000 (mm)	Precipitación media anual	
		(km ²)	(%)		(hm ³ /año)	(%)
I	Baja California	145 489	7.4	168.3	24 487.4	1.6
II	Noroeste	205 291	10.5	448.1	91 987.8	6.2
III	Pacífico Norte	151 934	7.8	747.7	113 593.9	7.6
IV	Balsas	119 219	6.1	963.0	114 806.7	7.7
V	Pacífico Sur	77 087	3.9	1184.6	91 315.6	6.1
VI	Río Bravo	379 604	19.4	435.9	165 464.7	11.1
VII	Cuencas Centrales del Norte	202 385	10.3	427.6	86 548.3	5.8
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	190 438	9.7	817.9	155 755.2	10.5
IX	Golfo Norte	127 138	6.5	910.9	115 807.6	7.8
X	Golfo Centro	104 631	5.3	1 552.8	162 471.7	10.9
XI	Frontera Sur	101 813	5.2	1 845.6	187 904.6	12.6
XII	Península de Yucatán	137 795	7.0	1 219.2	167 993.9	11.3
XIII	Aguas del Valle de México	16 424	0.8	610.2	10 022.1	0.7
Nacional		1 959 248	100.0	759.6	1 488 191.8	100.0

Fuente:
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

Estas variaciones en las precipitaciones pueden traducirse en eventualidades como las sequías, las cuales pueden tener importantes consecuencias económicas, principalmente sobre la agricultura y la ganadería. En el último siglo se presentaron en el país cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1952, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, así como una sequía severa en 1998, que afectaron principalmente a los estados del norte del país. Entre los años 2000 y 2003, 18 estados fueron

afectados por sequía. De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), éstos sufrieron pérdidas económicas valuadas en más de mil 800 millones de pesos. Tan sólo en 2002 y 2003, casi un millón de hectáreas de cultivo fueron afectadas y se perdieron más de 13 mil cabezas de ganado. Los estados más afectados en estos últimos años fueron Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, Veracruz y Sonora (Cenapred, 2001, 2002, 2003 y 2004).

Tabla 6.2
Disponibilidad natural media, escurrimiento superficial y recarga de agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2007

Región hidrológico-administrativa		Escurrimiento natural medio superficial total (hm ³)	Recarga media de acuíferos ^b (hm ³)	Disponibilidad natural media total ^b (hm ³)
I	Península de Baja California	3 367	1 249	4 616
II	Noroeste	5 074	3 130	8 204
III	Pacífico Norte	22 364	3 263	25 627
IV	Balsas	17 057	4 601	21 651
V	Pacífico Sur	30 800	1 994	32 794
VI	Río Bravo	6 857	5 167	12 024
VII	Cuencas Centrales del Norte	5 506	2 274	7 780
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	26 351	7 686	34 037
IX	Golfo Norte	24 227	1 274	25 500
X	Golfo Centro	91 606	3 849	95 455
XI	Frontera Sur	139 739	18 015	157 754
XII	Península de Yucatán	4 329	25 316	29 645
XIII	Aguas del Valle de México	1 174 ^a	1 834	3 008
Nacional		378 449	79 651	458 100

^aSe consideran las aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México.

^bIncluye importaciones y excluye exportaciones. Las medias se refieren a valores históricos de acuerdo con la disponibilidad de estudios hidrológicos.

Fuente:

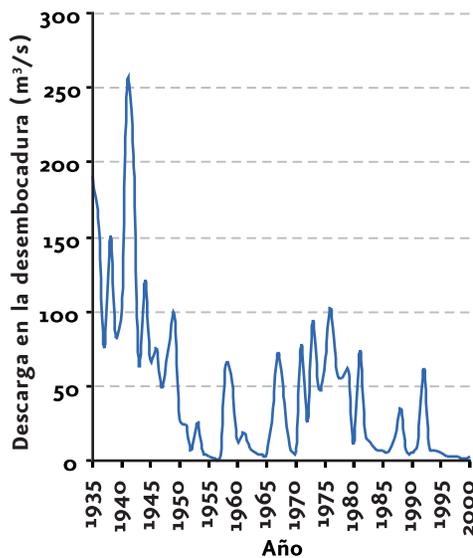
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México, 2008.

Junto con la variación interanual en la precipitación, debe considerarse la variación en la precipitación que ocurre entre meses. En el país, 68% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre (*Cuadro D3_AGUA01_03*), lo cual afecta la disponibilidad temporal del líquido en muchas zonas del país, sobre todo en aquellas localizadas en zonas secas. Como consecuencia de ello, casi todos los ríos muestran una diferencia notable en el volumen de agua que acarrearán entre las épocas de lluvias y de secas. La variación se ve acentuada por las obras de retención de líquido e

irrigación, de tal manera que muchos de los ríos que antes eran permanentes ahora se vuelven intermitentes, por lo menos en algunas partes de su recorrido, o han visto disminuido su caudal de manera notable. Ejemplo de ello es el río Bravo, el cual después de la construcción de presas sobre el caudal principal y sus afluentes (algunas de las cuales están catalogadas como “grandes presas”, entre ellas La Amistad y Falcón), redujo de manera importante su caudal, el cual en algunos momentos ha llegado a ser nulo en su desembocadura (Figura 6.5).

Figura 6.5

Volumen de agua descargada en la desembocadura del río Bravo, 1935 - 2000



Fuente:
The Global Runoff Data Centre. Long Term Mean Monthly Discharges and Annual Characteristics of Selected GRDC Stations. Koblenz, Germany. 2005. Disponible en: www.grdc.barfg.de Fecha de consulta: 01-12-2008.

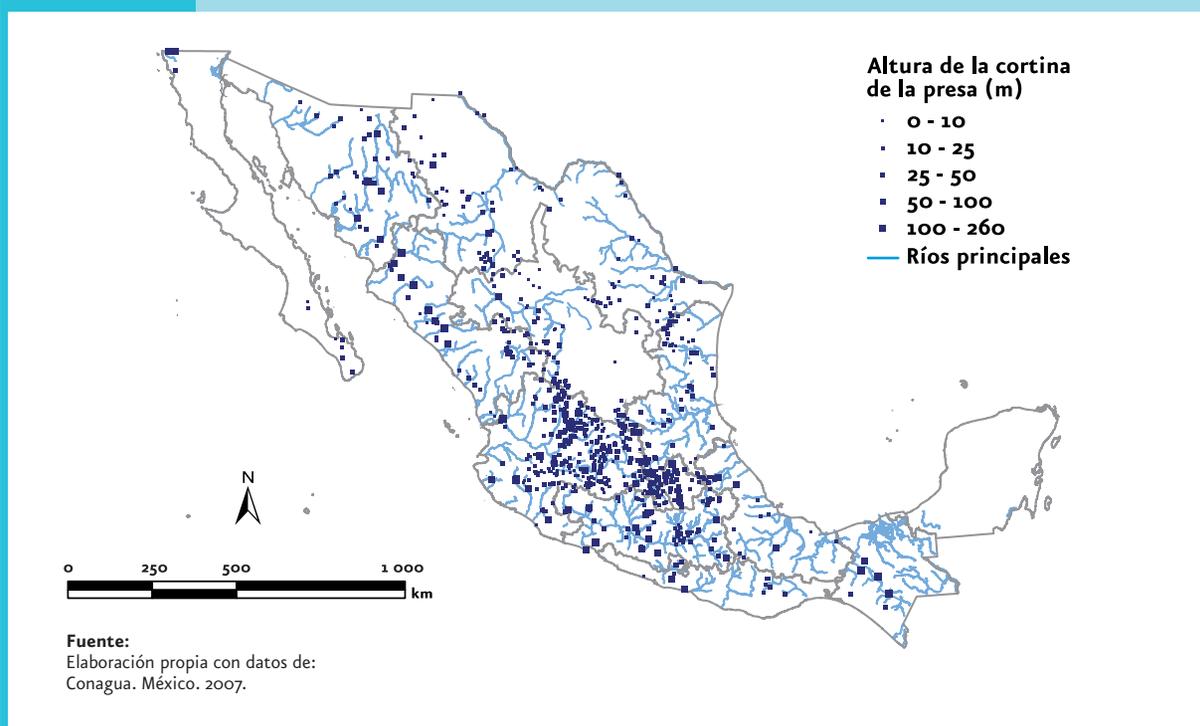
Los ciclones que afectan regularmente las costas del país también modifican los volúmenes temporales de precipitación en el territorio nacional. En México se presentan alrededor de 25 ciclones al año con vientos mayores a 63 kilómetros por hora, principalmente en las costas del Pacífico (60% del total), de los cuales cuatro, en promedio, tienen efectos importantes sobre el territorio (*Cuadro D1_DESASTRE00_01*). La ocurrencia de ciclones tropicales se concentra entre mayo y noviembre, con lluvias intensas en cortos periodos que incrementan sustancialmente la cantidad de agua que cae sobre ciertas zonas. Sin embargo, el agua que ingresa por estos meteoros, además de que frecuentemente ocasiona inundaciones y daños a las poblaciones, en muchos casos no es aprovechable, ya que escurre muy rápidamente vertiéndose a los ríos o directamente al mar.

Disponibilidad natural

Existen diversas formas para estimar la disponibilidad de agua de un país o región, aunque la precisión y realismo del valor calculado dependen de la información con la que se cuenta. Una aproximación muy gruesa es la precipitación total. En este sentido, los 760 mm de precipitación anual que recibe el país lo clasifican según la OCDE en la lista de países con abundante disponibilidad de agua. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la alta tasa de evapotranspiración (72.5% de la precipitación total) y la heterogeneidad geográfica disminuyen significativamente el volumen de agua disponible en las diferentes zonas del territorio.

El volumen total de recursos hídricos renovables en México es de 458 km³ (volumen de agua disponible), que suele calcularse como la suma del escurrimiento natural medio anual y la recarga media de aguas subterráneas. Es importante resaltar que esta cantidad no sólo comprende el líquido disponible para uso humano, sino también el necesario para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos. Por lo anterior, los volúmenes aprovechables y disponibles como recursos para satisfacer las demandas de la sociedad son, en realidad, considerablemente menores que la cifra máxima que se calcula para cada país.

Con objeto de asegurar el suministro de agua 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, el resto de las regiones hidrológico-administrativas cuentan con presas (Mapa 6.2). La capacidad de almacenamiento de las cerca de 4 mil presas existentes (de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas) es de 150 kilómetros cúbicos (**IB 2.1-9**), que equivale a 40% del escurrimiento promedio anual del país.

Mapa 6.2**Distribución de las principales presas, 2007**

En contraste, el volumen de agua almacenado en los lagos y lagunas del país es pequeño (poco más de 6.5 km³), ya que México no cuenta con lagos extensos y profundos ([Cuadro D3_AGUA01_06](#)). Debe notarse, sin embargo, que no toda el agua que se almacena en las presas y otros embalses tiene algún uso consuntivo (es decir, agropecuario, público o industrial): cerca de 80% del agua se descarga al mar sin haberse consumido.

Aunado a lo anterior, debe tomarse en cuenta que una gran cantidad del agua almacenada en estos reservorios se evapora hacia la atmósfera, calculándose que incluso podría exceder a nivel global las necesidades conjuntas de la industria y el consumo doméstico, lo cual además se exagera en las regiones tropicales.

Con respecto al uso de las presas en el país, de las 52 más grandes, 25 tienen más de un uso,

26 tienen entre sus objetivos la generación de energía eléctrica, 39 suministran agua para riego y 9 de ellas se destinan para el abastecimiento público y/o control de avenidas. En total, 6.5 millones de hectáreas de agricultura de riego y 2.5 millones de temporal tecnificado son atendidas por la infraestructura hidráulica.

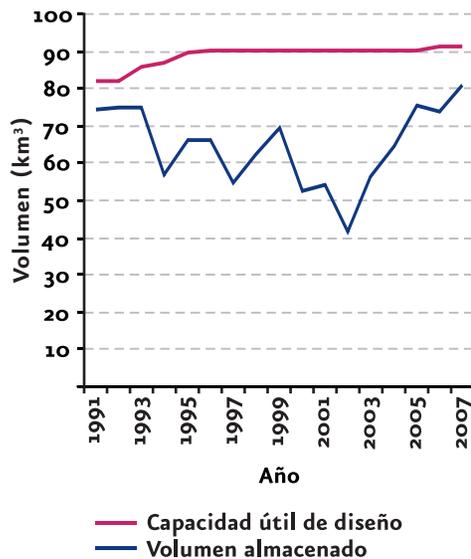
La cantidad de agua almacenada en las presas varía de un año a otro,

debido principalmente a la precipitación y la demanda del líquido (Figura 6.6). Entre 1990 y el año 2002 el volumen almacenado en las principales presas del país tendió a decrecer, recuperándose a partir del último año llegando a los 80 mil 876 millones de metros cúbicos en 2007 ([Cuadro D3_AGUA01_07](#); [IB 2.1-9](#)). Considerando la geografía nacional, el volumen de almacenamiento tampoco es homogéneo. El 18% del volumen de almacenamiento del país

La capacidad de almacenamiento de las cerca de 4 mil presas existentes es de 150 kilómetros cúbicos, que equivalen a 40% del escurrimiento promedio anual del país.

Figura 6.6

Volumen almacenado y capacidad útil de diseño de las presas principales en México, 1991 - 2007



Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México.
2008.

se ubica en zonas por arriba de los 500 metros sobre el nivel del mar, a pesar de que en éstas habita más de 75% de la población y se localizan las mayores superficies de riego agrícola.

Además de los efectos positivos que tienen las presas (p.e. a través del flujo continuo de agua, el control de avenidas y la generación de energía, principalmente) también tienen efectos negativos importantes sobre el ambiente, entre los que destacan la fragmentación de los ecosistemas que se establecen a lo largo de las márgenes de los ríos (con su consecuente pérdida de la biodiversidad), la modificación de la calidad del agua, la pérdida de los servicios ambientales de las cuencas que inundan y la pérdida de los sedimentos en la zona

En México, la disponibilidad natural de agua por habitante en el año 2007 fue de 4 mil 312 metros cúbicos anuales, la cual se considera como una disponibilidad baja.

costera que se detienen detrás de las cortinas de estas obras (MEA, 2005). Paralelamente, pueden derivarse problemas de salud pública ocasionados por las aguas estancadas que aumentan la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores.

Disponibilidad per cápita

Otra forma en la que se evalúa la disponibilidad del agua es por el volumen que le corresponde a cada habitante (IB 2.1-5). El valor de esta medida depende claramente del tamaño de la población que se asienta en el país o región para el cual quiera calcularse, considerando que la precipitación no se reduce de un año al otro. A nivel mundial, la tendencia en la disponibilidad per cápita ha sido decreciente. En 1960, a cada ciudadano del mundo le correspondían 11 mil 300 metros cúbicos por año, los cuales se redujeron a tan sólo 5 mil 600 en el año 2000 y, según proyecciones, podrían ser tan sólo 5 mil para el año 2010 (MEA, 2005).

En México, considerando la proyección de la población a diciembre de 2007, que estimaba un total de 106.23 millones de personas en el país, la disponibilidad natural de agua por habitante fue de 4 mil 312 metros cúbicos anuales (IB 2.1-1),

un volumen que, de acuerdo al World Resources Institute (WRI), se considera como de disponibilidad baja (el límite inferior para clasificar a la disponibilidad media es de 5 mil metros cúbicos por habitante por año). En el contexto mundial, la disponibilidad de agua por habitante en México en la actualidad es mucho menor que la de países como Canadá (91 420 m³/hab/año), Brasil (45 570 m³/hab/año) o Estados Unidos (10 270 m³/hab/año), y en general toda América del Sur, pero ligeramente superior al promedio de los países europeos (PNUMA, 2002).



Una disponibilidad inferior a los mil 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 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 comprometen seriamente la seguridad alimentaria, el desarrollo económico del país y la protección de sus ecosistemas. Por lo común, en estas circunstancias se carece transitoriamente de agua en algunos 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).

La disponibilidad de agua per cápita también se ha reducido con el tiempo en México. En 1950, la disponibilidad promedio era de 17 mil 742 metros cúbicos por habitante, la cual se redujo en 1960 a poco menos de 11 mil metros cúbicos y en 1970 había caído por debajo de los 8 mil. De acuerdo con las proyecciones que realiza el Consejo Nacional de Población (Conapo) sobre la población media del país, se estima que para el año 2010 la disponibilidad de agua por habitante se reducirá a 4 mil 210 metros cúbicos y para 2030 se limitará a tan sólo 3 mil 783 metros cúbicos por habitante por año (Conagua, 2008).

Debido a que una aproximación a escala de país puede enmascarar situaciones de estrés hídrico importante, recientemente se propuso que la disponibilidad de agua se estudie a nivel de cuenca o bien a una escala en la que se considere más estrechamente la fuente de agua con la población que la utiliza (UNDP *et al.*, 2000). De esta forma, si se examina por regiones, México presenta todo el espectro de categorías de disponibilidad de agua. El país se puede dividir en general en dos grandes zonas: la zona norte, centro y noroeste, donde se

concentra 77% de la población y se genera 87% del producto interno bruto, pero únicamente ocurre 31% del agua renovable; y la zona sur-sureste, donde habita 23% de la población, se genera 13% del PIB y ocurre 69% del agua renovable. Para ilustrar la heterogeneidad en la disponibilidad per cápita, la región Aguas del Valle de México y Frontera Sur constituyen buenos ejemplos. La disponibilidad per cápita en la región Aguas del Valle de México es de 143 metros cúbicos por habitante por año, lo que la clasifica en la categoría de disponibilidad extremadamente baja, mientras que la región de la Frontera Sur, con 24 mil 270 metros cúbicos por habitante por año, muestra una disponibilidad calificada como muy alta (Mapa 6.3, [Cuadro D3_AGUA03_01](#)). Tomando en cuenta tan sólo a las regiones hidrológico-administrativas del país con disponibilidades iguales o menores a los mil 700 metros cúbicos por habitante por año, 60 millones de habitantes en el país se encuentran en situación de estrés hídrico.

De acuerdo con un estudio enfocado a detectar áreas donde la disponibilidad de agua podría caer por debajo de los mil 700 metros cúbicos por habitante por año para el año 2025 y realizado en diferentes cuencas de los principales ríos del mundo (de los cuales se tenía información confiable de aspectos hidrológicos y poblacionales), se identificó que en México las cuencas de los ríos Balsas, Grande de Santiago y Colorado podrían caer en esta situación (UNDP *et al.*, 2000).

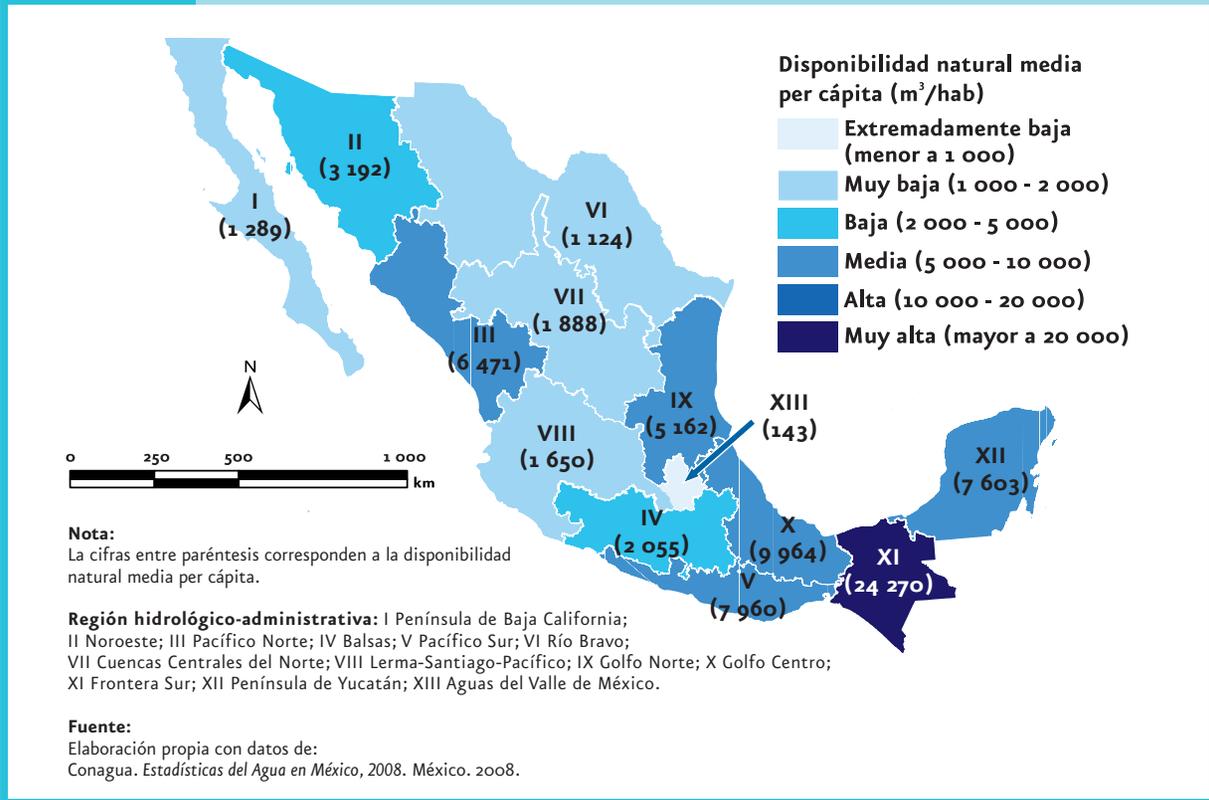
Grado de presión

El grado de presión sobre los recursos hídricos (GPR; **IB 2.1-6, IC 10**), que representa la proporción del agua disponible que se extrae en una zona, ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales o de otros tipos, es otra forma de evaluar la disponibilidad del agua. La Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS) de la ONU define cuatro categorías para clasificar el grado de presión, que van desde una presión fuerte (la extracción supera el 40% de la disponibilidad natural) hasta una presión escasa



Mapa 6.3

Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológico-administrativa, 2007



(el agua extraída no rebasa el 10% del líquido disponible). México, con un valor estimado de GPR de 17% en 2007, se encuentra en la categoría de presión moderada, valor ligeramente superior al 11.5% estimado como promedio para los países de la OCDE (OECD, 2002). No obstante, el valor relativamente bajo de GPR de México 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% de su agua disponible. En contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Balsas y Lerma-Santiago-Pacífico, se encuentran en una situación radicalmente distinta, con grados de presión superiores al 40% (Mapa 6.4).

México, con un valor estimado de grado de presión de 17% en 2007, se encuentra en la categoría de presión moderada, con grandes variaciones regionales.

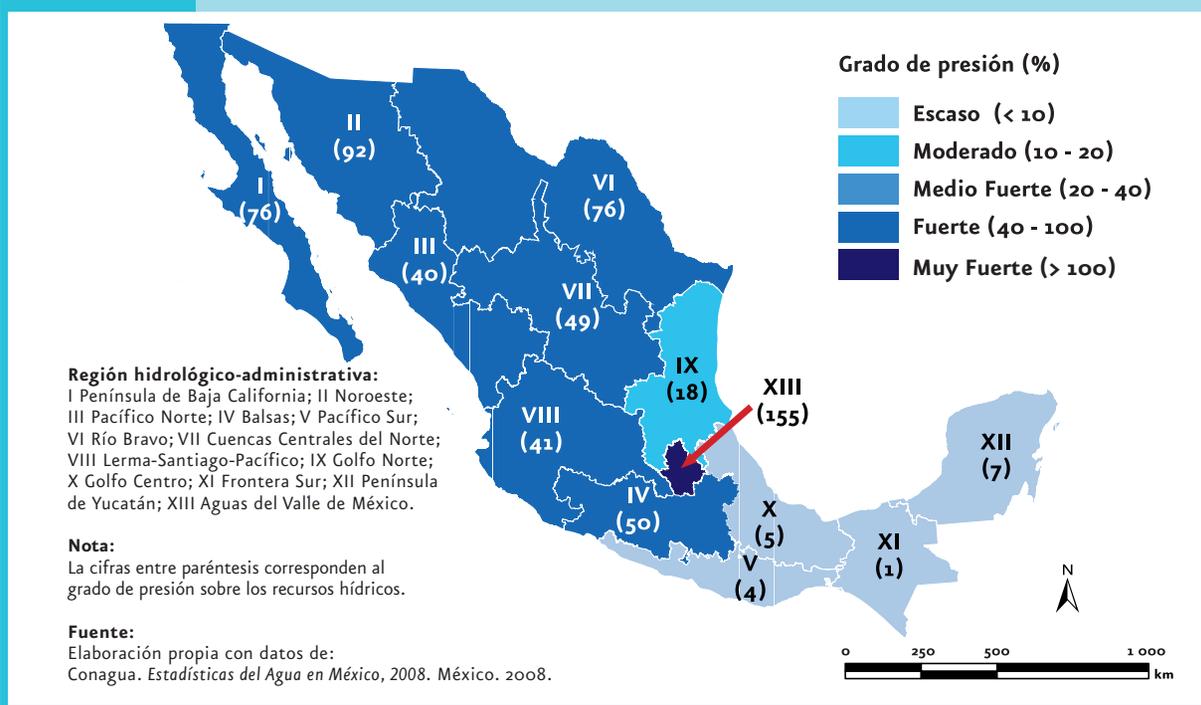
Caso particular es el de la región de Aguas del Valle de México, cuyo valor de presión sobre el recurso alcanzó 155% en 2007.

Finalmente, otra medida de la disponibilidad de agua es la que se conoce como intensidad de uso (OCDE, 1998) o extracción per cápita. De acuerdo con este indicador, la extracción per cápita en México para 2007 fue de 743 metros cúbicos por habitante por año, valor semejante al de Italia (774 m³/hab) y Japón (691 m³/hab) e inferior al de los Estados Unidos (1 596 m³/hab), Canadá (1 438 m³/hab), Australia (1 191 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).

Mapa 6.4

Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2007



EXTRACCIÓN Y USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA

La extracción de agua 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. En 1995, la extracción mundial de agua dulce fue de 3 mil 790 kilómetros cúbicos. En ese año, 59% de la extracción mundial correspondió tan sólo a Asia, en donde se ubican las mayores superficies de tierras irrigadas. Las predicciones señalan que la extracción global anual podría crecer entre 10 y 12% anual cada 10 años, alcanzando en el año 2025 los 5 mil 240 kilómetros cúbicos (Shiklomanov, 1999).

En México, se estima que en el 2007 se extrajeron 79 kilómetros cúbicos de agua de los ríos, lagos y acuíferos del país para los principales usos consuntivos, lo que representa 17% del agua

disponible (IB 2.1-2). Siguiendo la tendencia global, la mayor parte del agua que se extrae en el país se destina a las actividades agropecuarias: 77% se utiliza para el riego de 6.5 millones de hectáreas y para los usos pecuario y acuícola. En 2006, la superficie agrícola de riego representó la cuarta parte de la superficie sembrada y generó más de la mitad del valor de la producción agrícola nacional. El uso para abastecimiento público le sigue con 14% del volumen total de agua extraída y el industrial con 9% (Figura 6.7; ver el Recuadro *Huella hídrica, patrones de consumo y comercio internacional*). Dentro de los usos no consuntivos del agua, en 2007 las hidroeléctricas emplearon para su funcionamiento un volumen de 123 kilómetros cúbicos de agua para generar 29 mil 700 GWh de electricidad (13% del total del país).

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



El hombre utiliza grandes cantidades de agua para actividades cotidianas, pero mucha más para producir alimentos, papel, ropa y demás productos que consume. La huella hídrica de un país se define como el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por sus habitantes (Chapagain y Hoekstra, 2004). El concepto de huella hídrica está estrechamente relacionado con el concepto de agua virtual, la cual corresponde a la cantidad de agua utilizada durante el proceso de producción de un bien o servicio (Figura a). Debe mencionarse que el contenido virtual de agua de un determinado producto puede variar dependiendo del clima y las condiciones en las que se produjo.

El concepto de huella hídrica fue introducido con el fin de proporcionar información sobre el uso del agua en relación con el consumo, y complementa así los indicadores tradicionales de uso del agua 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. A nivel global 86% de la huella hídrica está relacionada con el consumo de productos agrícolas, 10% con el consumo de bienes industriales y menos de 5% con los usos domésticos (Chapagain y Hoekstra, 2004).

La huella hídrica individual o per cápita es el volumen total de agua utilizado para producir los bienes y servicios que un individuo consume. Puede estimarse multiplicando todos los bienes y servicios consumidos por un habitante por su respectivo contenido virtual de agua.

Figura a

Agua utilizada para producir algunos alimentos y bebidas



Fuente: Chapagain, A. K. y A. Y. Hoekstra. *Water footprints of nations. Value of Water. Research Report Series No. 16.* UNESCO-IHE. Delft. The Netherlands. 2004. Disponible en: www.waterfootprint.org Fecha de consulta: 01-12-2008.

Recuadro

Huella hídrica, patrones de consumo y comercio internacional (continúa)

Los principales factores que determinan la huella hídrica per cápita de un país son: 1) el consumo de agua promedio per cápita, generalmente relacionado con el ingreso nacional bruto; 2) los hábitos de consumo de sus habitantes (p.e. proporción de carne consumida); 3) el clima, en particular la demanda evaporativa, lo que determina las condiciones de cultivo; y 4) las prácticas agrícolas (eficiencia en el uso del agua).

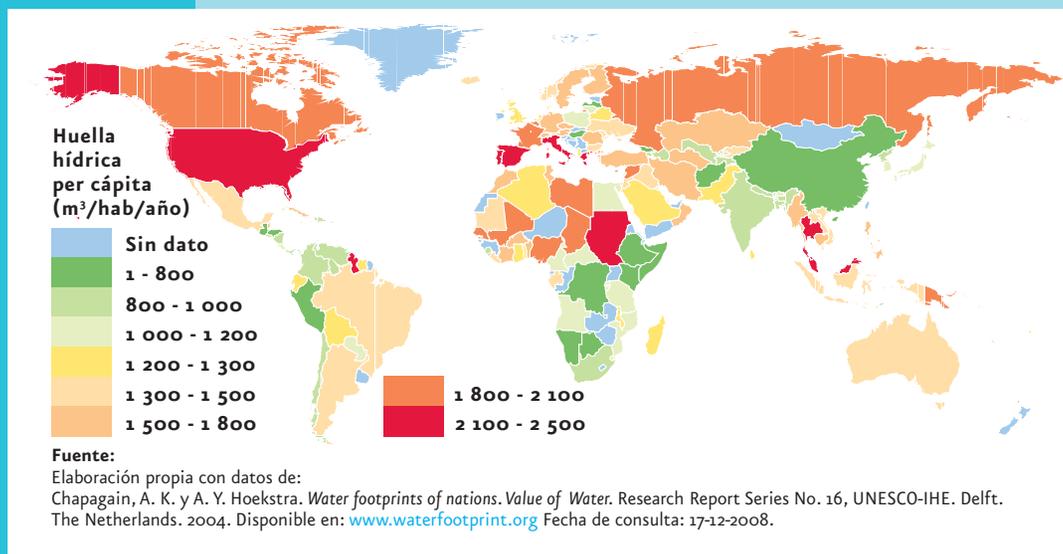
En los países desarrollados, donde el nivel de consumo de bienes y servicios es elevado, la huella hídrica per cápita es alta debido en parte al alto consumo de carne y productos industrializados. Los países en vías de desarrollo, con un bajo consumo de carne, pueden también tener altas huellas hídricas per cápita como resultado de una baja eficiencia en el uso del agua y condiciones de cultivo desfavorables.

En el periodo 1997-2001, los países con mayor huella hídrica total fueron India (987 km³), China (883 km³) y Estados Unidos (696 km³). México, con una huella hídrica total de 140 kilómetros cúbicos por año, es el décimo país a nivel mundial. Por su huella hídrica per cápita, estimada en 2 mil 483 metros cúbicos por habitante por año, Estados Unidos ocupa el primer lugar mundial, mientras que China (702 m³/hab/año) e India (980 m³/hab/año) ocupan posiciones bajas (134 y 108, respectivamente). México tiene una huella hídrica per cápita estimada en mil 441 metros cúbicos por habitante por año (49 lugar mundial; Mapa a).

La huella hídrica de un país puede reducirse de varias maneras, entre las cuales destacan tres: 1) adoptar sistemas de producción que requieran menor cantidad de agua por unidad de producto (por ejemplo, la productividad

Mapa a

Huella hídrica per cápita promedio, 1997-2001



Recuadro

Huella hídrica, patrones de consumo y comercio internacional (conclusión)

del agua en la agricultura puede mejorarse aplicando técnicas de cosecha de agua de lluvia y riego suplementario); 2) optar por patrones de consumo que requieran menos agua (p.e. reduciendo el consumo de los productos que requieren una gran cantidad del líquido en su producción); y 3) desplazar las zonas de producción hacia áreas de mayor productividad, aumentando la eficiencia global de uso del agua.

El hecho de que muchos de los productos que se consumen en un país pueden producirse en otro significa que la demanda real de agua de una población es con frecuencia diferente de lo que las extracciones de agua sugieren. La huella hídrica de un país tiene, por tanto, los componentes interno y externo. La huella hídrica interna es el volumen utilizado de recursos hídricos del país. Por su parte, la externa corresponde al volumen de agua utilizado en otros países para

producir los bienes y servicios importados y consumidos por los habitantes de un país. México se sitúa en el sexto lugar mundial con una importación neta de 29 kilómetros cúbicos de agua virtual, con lo que reduce su demanda de agua en 65 kilómetros cúbicos en comparación con lo que se necesitaría si tuviera que producir la cantidad total de alimentos para satisfacer la demanda de la población mexicana (Mapa b; Chapagain et al., 2006).

Referencias:

Chapagain, A.K. y A. Y. Hoekstra. Water footprints of nations, Value of Water. Research Report Series. 16, UNESCO-IHE. Delft. The Netherlands. 2004. Disponible en: www.waterfootprint.org Fecha de consulta: 17-12-2008.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G. Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences* 10:455-468. 2006. Disponible en: www.waterfootprint.org/ Fecha de consulta: 01-12-08.

Mapa b

Reducción promedio del uso de agua como resultado del comercio internacional de productos agrícolas, 1997-2001

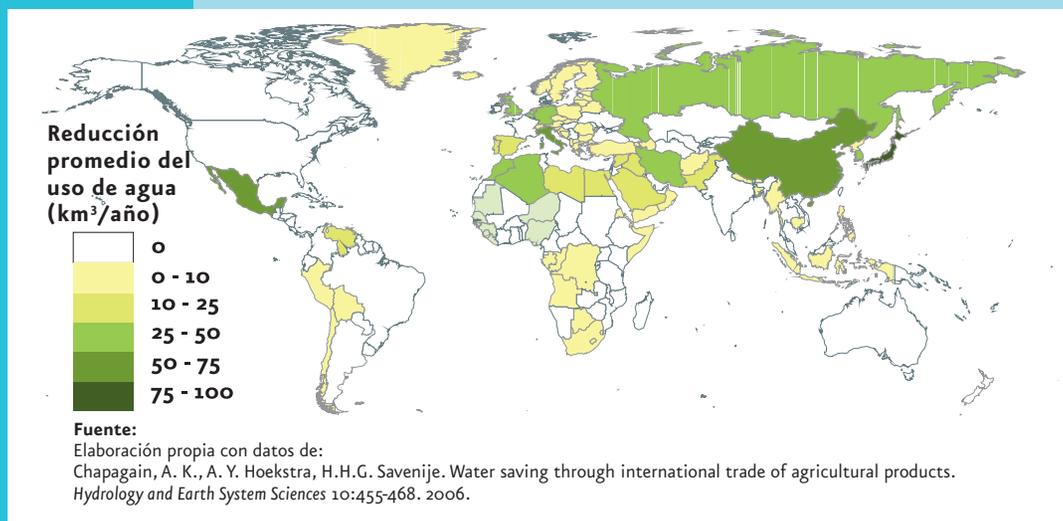
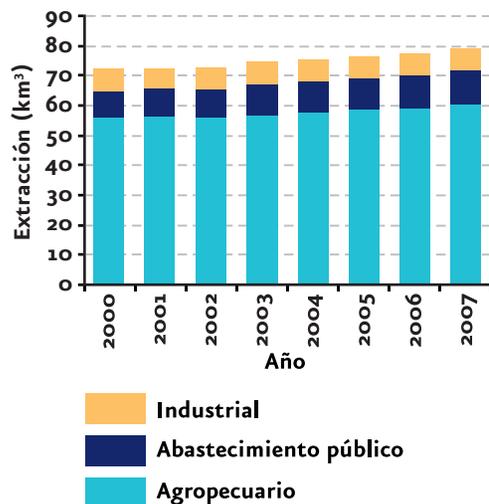


Figura 6.7

Volumen
concesionado para
uso consuntivo,
2000 - 2007

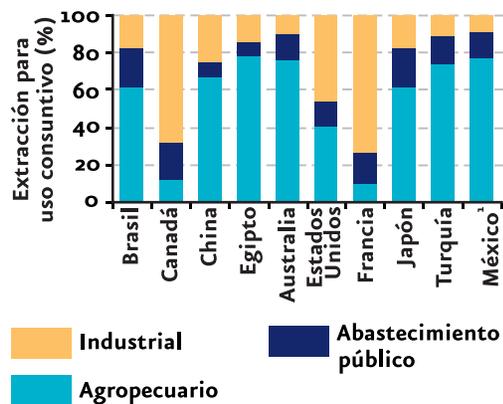


Fuentes:

Elaboración propia con datos de:
Conagua. Compendio básico del agua en México 2002. México. 2002.
Conagua. Estadísticas del Agua en México. México. Varios años.

Figura 6.8

Extracción de agua
para uso consuntivo
en México y otros
países, 2005



Nota:

¹Para México, los datos corresponden a 2007.

Fuentes:

Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.
FAO. Aquastat. Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el medio Rural de la FAO. Roma. Disponible en:
www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm. Fecha de consulta: 01-12-2008.

y agricultura, así como de su población y sus patrones de consumo. Por ejemplo, con respecto al abastecimiento público, las personas de los países desarrollados consumen en promedio cerca de diez veces más agua que las personas en vías de desarrollo (UNESCO, 2000 citado en UNEP, 2002). En general, la distribución del agua en México para los diferentes usos consuntivos es similar a la que tienen países como Australia, Egipto y Turquía, 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 Canadá y Francia (Figura 6.8).

El 77% del agua que se extrae en el país se destina a las actividades agropecuarias.

Las regiones hidrológico-administrativas del país que tienen la mayor extracción de agua son Lerma-Santiago-Pacífico, Balsas, Pacífico Norte y Río Bravo, mientras que las de menor consumo son Pacífico Sur, Frontera Sur y Península de Yucatán (Figura 6.9).

Si se analiza la extracción del agua según su origen, el mayor volumen proviene de las fuentes superficiales: considerando el agua consumida, en el año 2007 el 63% del volumen provino de estas fuentes y el restante 37% de las aguas subterráneas. Entre el año 2000 y 2007 la extracción de fuentes superficiales se incrementó 12%, pero la extracción de agua subterránea se mantuvo prácticamente sin cambios (IB 2.1-3). Existen diferencias marcadas al interior del país con respecto a la proporción de

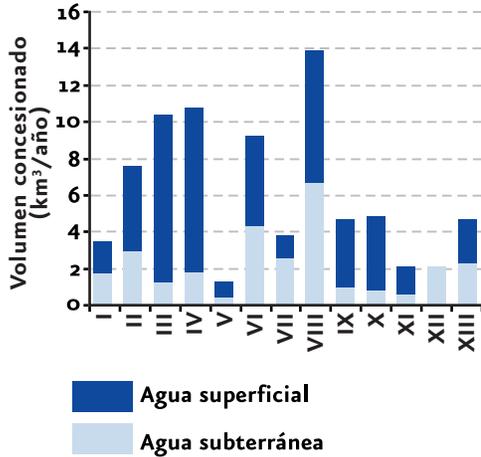
agua superficial y subterránea que se utiliza. Por ejemplo, en las regiones del Pacífico Norte, Golfo Centro y Balsas, el agua procede en mayor

medida de fuentes superficiales según origen (87, 82 y 83%, respectivamente), mientras que en las regiones de las Cuencas Centrales del Norte y Península de Yucatán se utiliza una fracción considerable del agua de origen subterráneo (68 y 99%, respectivamente; Figura 6.9; Cuadro D3_AGUA03_03).



Figura 6.9

Volumen concesionado por región hidrológico-administrativa, 2007



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.

Fuente:
Elaboración propia con datos de:
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

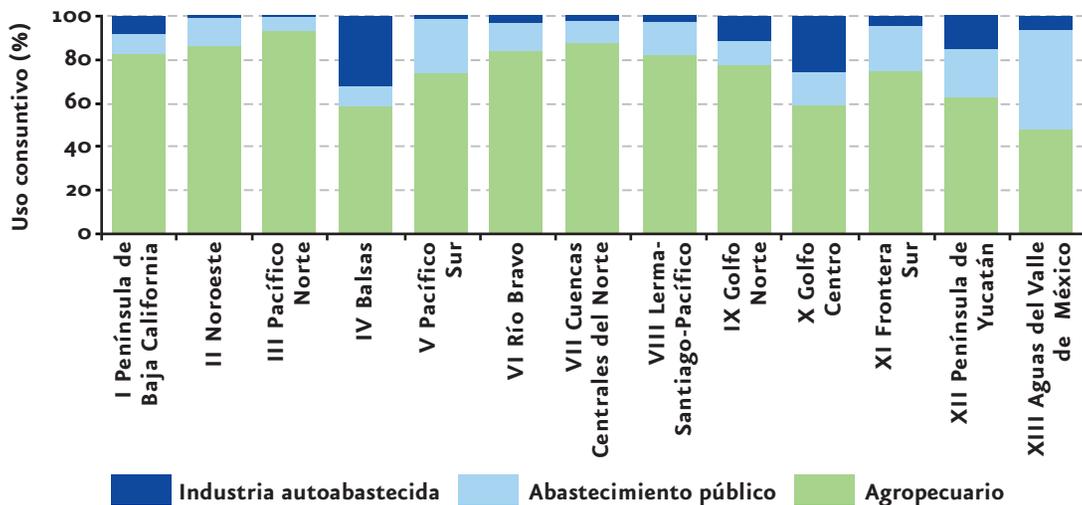
El uso de agua superficial se mantuvo con pocos cambios en la mayoría de las regiones del país entre los años 2000 y 2007. En la Península de Yucatán el uso del agua subterránea aumentó 80% en ese mismo periodo.

Si se analizan los usos consuntivos del agua regionalmente, se pueden apreciar diferencias importantes. En 2007, mientras que en la región del Pacífico Norte 93% del agua se destina a actividades agropecuarias, en la región del Valle de México (la que menos consume en el país para este uso) no alcanza 50% (Figura 6.10, [Cuadro D3_AGUA03_03](#)). Sin embargo, en lo que se refiere al agua para el abasto público, las regiones Aguas del Valle de México (46%), Península de Yucatán (22%), Pacífico Sur (25%) y Frontera Sur (21%), son las que, en proporción, asignan más agua. El agua destinada para el uso industrial en general es inferior al uso para abastecimiento público, excepto en las regiones Balsas, Golfo Norte y Golfo Centro.

El abastecimiento de agua para uso agrícola y para la industria autoabastecida a nivel nacional

Figura 6.10

Uso consuntivo del agua por región hidrológico-administrativa, 2007



Fuente:
Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

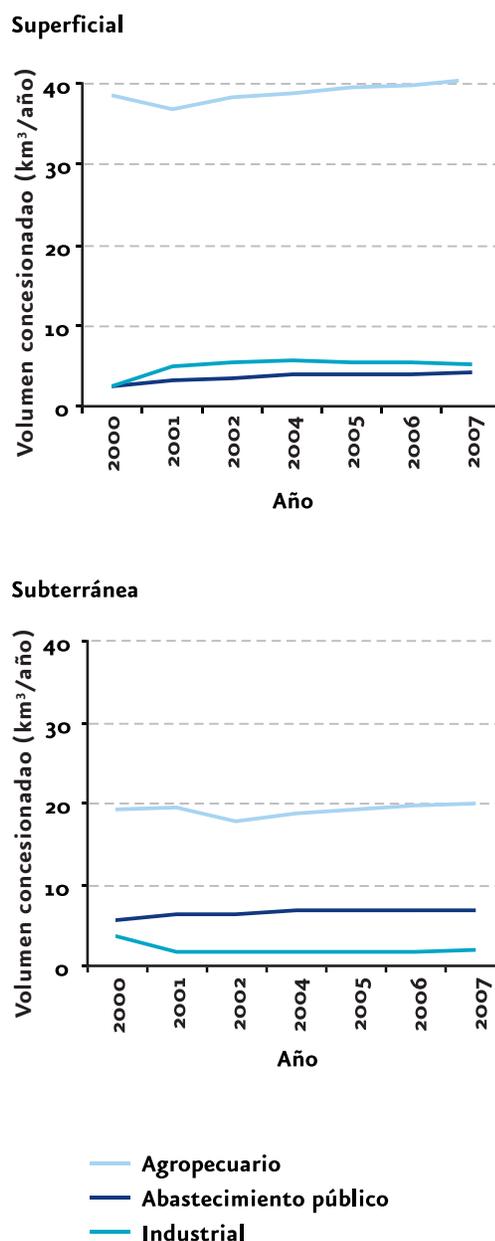
proviene en su mayor parte de fuentes superficiales (67 y 74%, respectivamente), en contraste con el agua que se destina al uso público, que en su mayoría proviene de fuentes subterráneas (62%). Entre 2000 y 2004 el uso de agua superficial y subterránea para el abastecimiento público se incrementó en 50 y 20% respectivamente; mientras que en el periodo de 2000 a 2006, el uso industrial de agua superficial se duplicó (Figura 6.11, Cuadro D3_AGUA03_03). La extracción para abastecimiento público tanto superficial como subterránea, aumentó menos de 1% entre 2004 y 2006; y para uso industrial la extracción de agua subterránea aumentó casi 20% entre 2000 y 2006.

Para conocer cómo afectan los usos consuntivos la sostenibilidad de los recursos subterráneos, puede emplearse como medida la intensidad de uso, que se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos. El volumen total concesionado en 2007 para los distintos usos consuntivos que provino de aguas subterráneas fue de 28.9 kilómetros cúbicos (superior 6% al volumen extraído en 2004), y que correspondió a 35% de la recarga anual estimada para el país. Esta cifra parece indicar, por un lado, un balance positivo en la explotación de las aguas subterráneas nacionales y, por otro, la existencia de una reserva aprovechable importante del líquido para el futuro. Sin embargo, cuando se analiza la situación a escala regional, el panorama es radicalmente diferente. En 2007, los valores de intensidad de uso del agua subterránea registraron déficit importantes (en los que el agua utilizada excedió la recarga) en las regiones Península de Baja California y Aguas del Valle de México, con valores de 145 y 126% respectivamente. No obstante, la región de Cuencas Centrales del Norte mostró también un déficit, calculado en el orden de 14%, (Mapa 6.5; Cuadro D3_AGUA02_01; IC 11).

La situación de las aguas subterráneas es grave en el país, debido principalmente a la fuerte explotación que se hace de ellas en muchas regiones. A partir de la década de los 70, ha venido aumentando el número de acuíferos sobreexplotados. En 1975 existían 32 acuíferos sobreexplotados, cifra que se

Figura 6.11

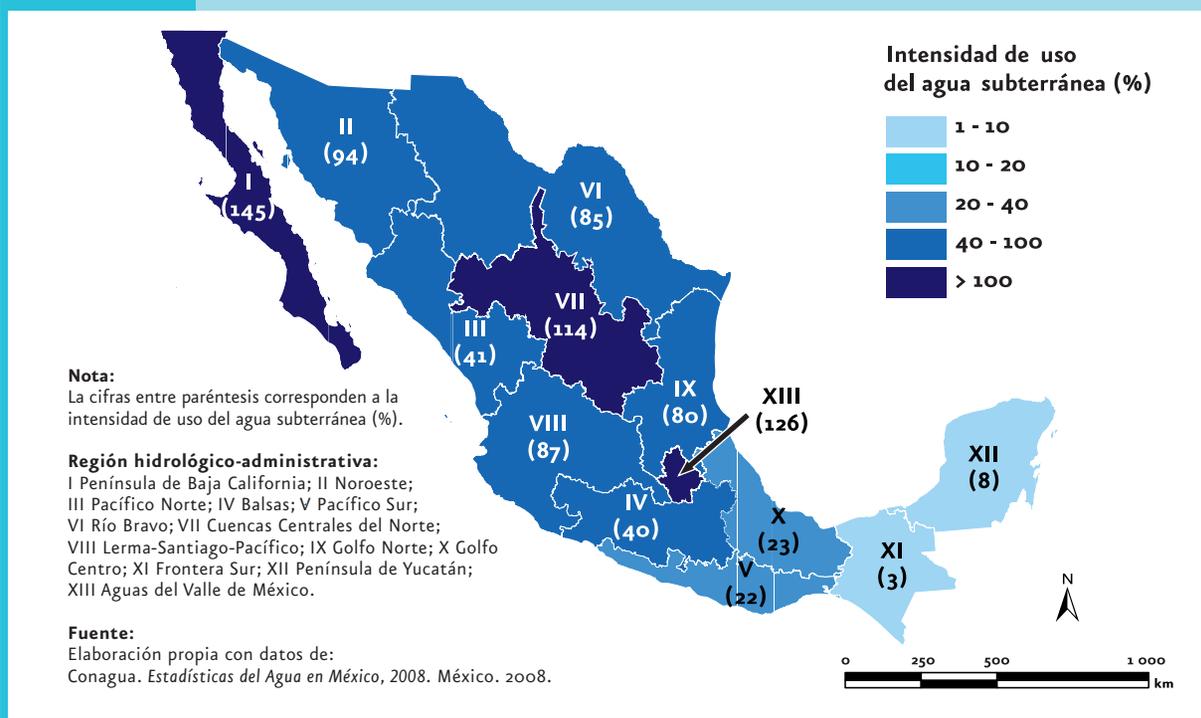
Volúmenes concesionados para usos consuntivos según origen, 2000 - 2007



Fuentes:
Elaboración propia con datos de:
Conagua. Compendio básico del agua en México 2002. México. 2002.
Conagua. Estadísticas del Agua en México. México. Varios años.

Mapa 6.5

Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2007



elevó a 36 en 1981, 80 en 1985, 102 en 2003 y 104 en el 2006. Sin embargo, en el año 2007 se redujo el número a 101, lo que representa 15% de los 653 acuíferos en que se ha dividido el país. Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones hidrológicas de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico (Mapa 6.6; Cuadro D3_AGUA02_04). De estos acuíferos se extrae 58% del agua subterránea para todos los usos (Conagua, 2007).

Además de la sobreexplotación, 17 acuíferos tienen problemas de intrusión salina (10 de ellos están sobreexplotados), sobre todo los que se localizan en las costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Colima (Cuadro D3_AGUA02_03; IB 2.1-7). En amplias zonas de riego, la sobreexplotación de los acuíferos ha provocado que los niveles de agua subterránea hayan descendido decenas de metros, como es el caso de los acuíferos de Maneadero y Camalú en Baja

California, que tienen registradas disminuciones del nivel estático de más de 12 metros en la zona cercana a la costa, lo que además ha favorecido la intrusión del agua salada del mar y la disminución de la calidad de su agua.

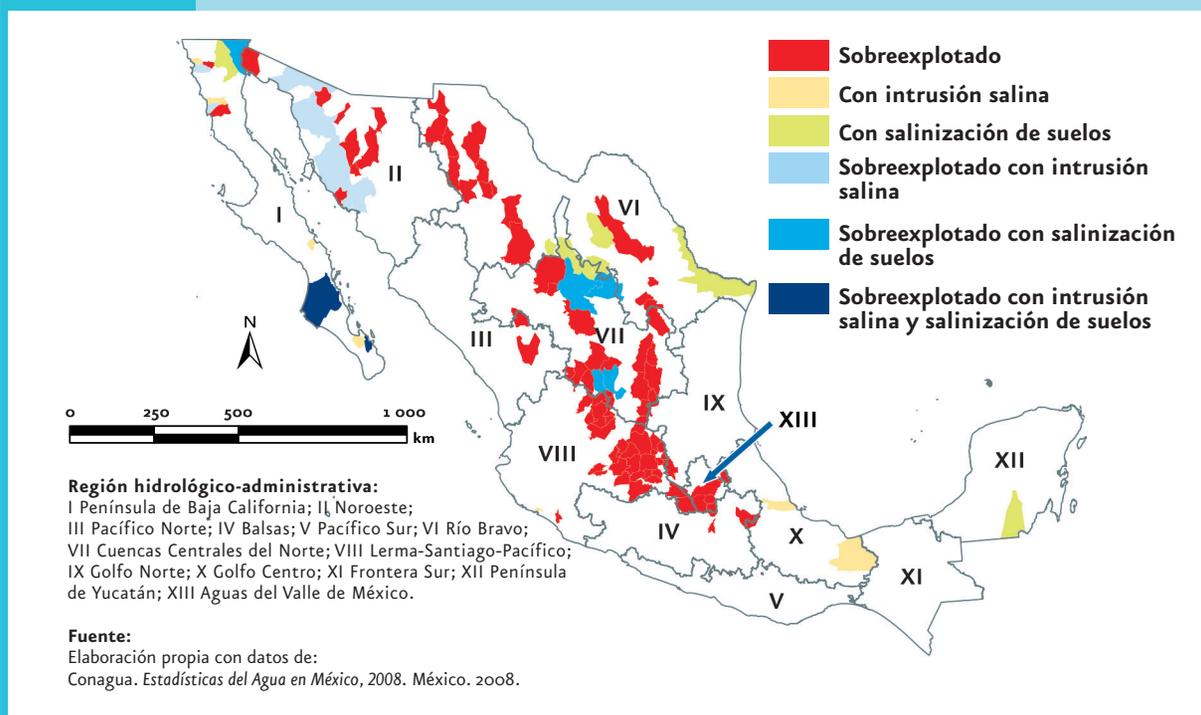
Escenarios futuros

El problema fundamental con la disponibilidad del agua es que la cantidad del líquido es prácticamente invariable y no así la demanda de una población creciente que requiere mayor cantidad de alimentos, productos manufacturados y energía. El tema de la escasez es por tanto uno de los más importantes de la agenda ambiental global. Las Naciones Unidas (2007) reconocen cuatro fuerzas fundamentales que podrían incrementar la escasez de agua en las décadas siguientes. La primera de ellas corresponde al crecimiento de la población. En 2005, la población mundial alcanzó los 6 mil 400 millones, esperando que para el año 2050, la población del mundo podría contabilizar los 8 mil 900 millones de personas, lo que reducirá



Mapa 6.6

Situación de los acuíferos por región hidrológico-administrativa, 2007



significativamente la disponibilidad per cápita. Se estima que en el 2025 cerca de mil 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 el caso de México, la disponibilidad per cápita en 2007 fue de 4 mil 312 metros cúbicos, que para 2030 se reducirá a tan sólo 3 mil 783 por habitante por año (Conagua, 2008). A nivel regional, en 2006 los habitantes de tres regiones hidrológico-administrativas presentaron ya 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, mientras que las regiones Balsas y Cuencas Centrales del Norte (actualmente con disponibilidad per cápita baja) tendrán una disponibilidad catalogada como muy baja (Tabla 6.3).

La segunda causa de la escasez de agua se encuentra la creciente urbanización de los países, la cual podría exacerbar el problema en virtud de la mayor demanda de una mayor población más concentrada (UN, 2007). En 1950, de los 2 mil 500 millones de habitantes del planeta, tan sólo el 29% vivía en zonas urbanas, mientras que el restante 71% (alrededor de mil 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 mil 400 millones) vivirá en ciudades, y el resto (30%, es decir, 2 mil 790 millones de personas) ocupará las zonas rurales (UN, 2008). México ha seguido un patrón de urbanización similar al mundial. En 1970, el 51.7% de la población vivía en zonas urbanas, y se

Tabla 6.3
Proyección de la disponibilidad de agua per cápita nacional a 2030

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

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

 Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.

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

incrementará hasta 68% en el año 2030 (Conapo, 2006; Reyna y Hernández, 2006), lo cual podría incrementar, en las regiones más urbanizadas, como el centro y poniente del país, la condición crítica de abasto de agua.

En tercer lugar como fuerza impulsora de la escasez de agua se encuentra el consumo per cápita. En la medida que el desarrollo económico eleva el estado de bienestar de los países, el consumo por habitante tiende a crecer (UN, 2007). Finalmente, mientras los factores anteriores modifican la

demanda del líquido, el cambio climático tendrá un efecto importante alterando la disponibilidad a nivel mundial. Si el cambio climático sigue 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 el suministro a la población.

CALIDAD DEL AGUA

La situación de la disponibilidad del agua no refleja cabalmente la magnitud del problema

con el líquido. Debido a la descarga continua de aguas residuales sin tratamiento, cargadas de contaminantes domésticos e industriales, así como los escurrimientos con agroquímicos provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias asentadas en las diferentes cuencas, la calidad del agua de los cuerpos superficiales y subterráneos se afecta negativamente, con lo cual la escasez del líquido se agrava y se pone en riesgo la salud de importantes segmentos de la población. Paralelamente, el deterioro y la pérdida de ecosistemas naturales impiden que éstos brinden de manera natural sus bienes y servicios ambientales, entre los que se encuentran la captación y purificación del agua, lo cual agrava la carestía de este valioso recurso. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2002 alrededor de mil 100 millones de personas no tenían acceso al agua potable, lo que representaba cerca de 17% de la población mundial (WHO, 2004). Esto 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.

El agua de buena calidad es un atributo que se define en función del uso que se le asigna (ya sea como agua potable, de recreación, para uso agrícola o industrial, por ejemplo), lo que implica necesariamente la existencia de estándares de calidad específicos para los distintos usos (UNDP et al., 2000). Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el uso que tendrá.

La calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo depende de múltiples factores, algunos de los cuales la reducen directa o indirectamente y otros que 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. Indirectamente, la disposición inadecuada en el

suelo de residuos sólidos urbanos o peligrosos puede ocasionar que escurrimientos superficiales contaminen los cuerpos de agua lóticos o lénticos y que los lixiviados contaminen 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, la cual no obstante puede ser sobrepasada (ya sea por la misma carga de contaminantes o el deterioro de los ecosistemas), amenazando la biodiversidad acuática y su potencial para seguir proporcionando estos y otros servicios ambientales (Vörösmarty et al., 2005).

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 los nutrientes (nitrógeno y fósforo), organismos patógenos (bacterias y virus), materia orgánica biodegradable, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos (Silk y Ciruna, 2004). Muchas de las sustancias contaminantes pueden ser absorbidas y acumularse en los tejidos de los organismos acuáticos (tanto plantas como animales), afectando en consecuencia la cadena trófica, la abundancia de las especies y la estructura de las comunidades biológicas.

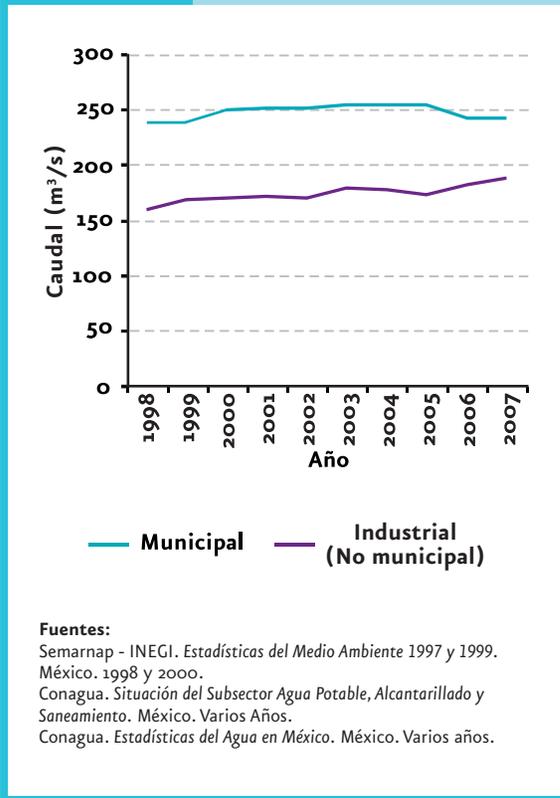
En México, en 2007, el volumen de aguas residuales provenientes de los centros urbanos ascendió a 7.66 kilómetros cúbicos. Este volumen ha crecido de manera proporcional al crecimiento de la población y la urbanización: entre 1998 y 2007 la generación de aguas residuales de los centros urbanos se incrementó de 239 a 243 metros cúbicos por segundo (Figura 6.12; **IB 2.2-1**).

Por su parte, las descargas de aguas residuales no municipales en 2007 fueron de alrededor de 5.98 kilómetros cúbicos (es decir, cerca de 188.7 m³/s; **IB 2.2-2**) que representan 6.95 millones de toneladas de DBO al año ([Cuadro D3_AGUA07_10](#)).



Figura 6.12

Agua residual generada, 1998 - 2007



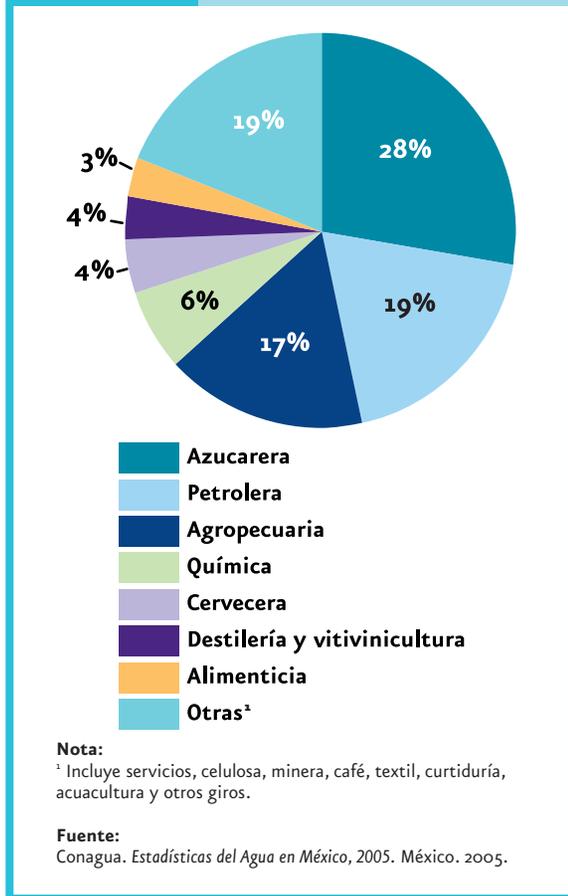
Estas descargas hacia los cuerpos de agua no se han incrementado de manera notable en los últimos años en el país: entre el año 2000 y el 2007 el volumen de la descarga creció en diecinueve metros cúbicos por segundo, lo que significó un incremento de 11% del volumen descargado en 2000.

Las descargas industriales provienen principalmente de las industrias química, azucarera, minera, petrolera, del hierro y acero, celulosa, papelera, textil y acuícola (*Cuadro D3_AGUA07_10*). Si se considera la materia orgánica descargada, las industrias que aportan los mayores volúmenes son la azucarera (28%), petrolera (19%) y la agropecuaria (17%; Figura 6.13).

En México, entre 1998 y 2007 la generación de aguas residuales de los centros urbanos se incrementó de 239 a 243 metros cúbicos por segundo.

Figura 6.13

Materia orgánica descargada en aguas residuales: principales giros industriales, 2002



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 2007, la RNM contó con mil 14 sitios, de los cuales 389 corresponden a la red primaria, con 207 ubicados en cuerpos de agua superficiales, 52 en zonas costeras y 130 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 285 estaciones, de las cuales 241 estaban localizadas en aguas superficiales, 19 en zonas costeras y 25 en aguas subterráneas. El resto pertenece a la red de

estudios especiales (251) y a la red de referencia de agua subterránea (89). Es importante mencionar que 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_R_AGUA05_03](#)).

Actualmente, la Conagua publica entre sus principales indicadores de la calidad del agua, la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO) y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Estas variables muestran la influencia humana por la presencia de centros urbanos e industriales. Otros parámetros que se registran en la mayoría de los sitios de la RNM de la calidad del agua son las concentraciones de nitratos (**IB 2.2-11**) y fosfatos² (**IB 2.2-10**), dureza, oxígeno disuelto y pH.



La demanda bioquímica de oxígeno se utiliza como indicador de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua (**IB 2.2-9** e **IC 13**). El incremento de la materia orgánica provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua (lo cual crea condiciones de “anoxia”), con efectos negativos en las comunidades biológicas presentes en los ecosistemas acuáticos. En 2007, en 38% de los sitios de monitoreo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) fue inferior a los 3 mg/L, lo que se considera como valor límite para una excelente calidad del agua, un porcentaje 14% menor al registrado en 2003. No obstante, cerca de 14% de los cuerpos de agua monitoreados registró valores de DBO_5 mayores a 30 mg/L, valor que se considera el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos (Mapa 6.7; [Cuadro D3_AGUA05_02](#)). La mayor cantidad de estaciones



con altos valores de DBO_5 (mayores a 30 mg/L) se concentraron en el centro del país: en las regiones Aguas del Valle de México, Noroeste y Balsas; en 72, 50 y 26% de sus estaciones respectivamente, se registraron valores promedio en 2006 superiores a 30 mg/L (Mapa 6.7).

Otro contaminante detectado frecuentemente 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 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 domésticos. 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 2006, en más de 88% de los sitios de monitoreo del país la concentración de fosfato total fue superior a 0.1 mg/L³. En el caso de las regiones hidrológico-administrativas Noroeste, Pacífico Norte, Balsas, Golfo Centro y Aguas del Valle de México se superó este límite en 100% de los sitios monitoreados (Mapa 6.8).

Los nitratos son componentes importantes de los fertilizantes que pueden originarse también de la oxidación del amonio (NH_4^+) y de otras fuentes presentes en los restos orgánicos. Los nitratos tienen efectos adversos en la salud humana, causando cianosis y hasta asfixia. En 2006 se detectaron concentraciones superiores a 0.2 mg/L⁴ en 74% de los sitios de monitoreo de la RNM (Mapa 6.9). En las regiones Pacífico Norte, Balsas,

²Se establece como concentración máxima permisible, en las fuentes de abastecimiento de agua potable, una concentración de nitratos de 5 mg/L y de fosfatos de 0.1 mg/L.

³Se 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).

⁴Se 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).

Mapa 6.7

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2007

Región hidrológico-administrativa:

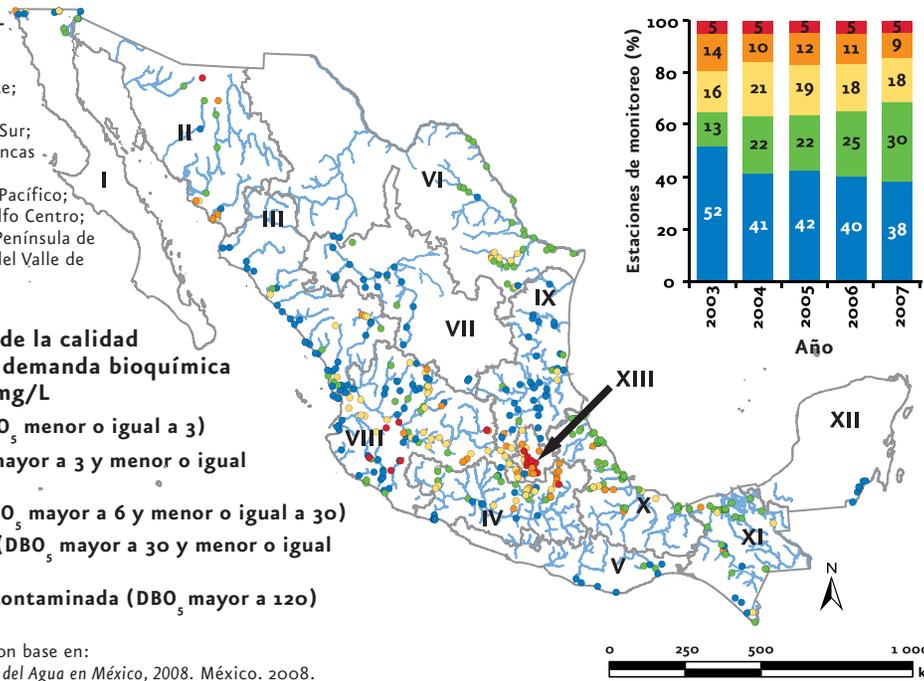
- I Península de Baja California; II Noroeste;
- III Pacífico Norte;
- IV Balsas; V Pacífico Sur;
- VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte;
- VIII Lerma-Santiago-Pacífico;
- IX Golfo Norte; X Golfo Centro;
- XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán;
- XIII Aguas del Valle de México.

Interpretación de la calidad del agua según demanda bioquímica de oxígeno en mg/L

- Excelente (DBO₅ menor o igual a 3)
- Buena (DBO₅ mayor a 3 y menor o igual a 6)
- Aceptable (DBO₅ mayor a 6 y menor o igual a 30)
- Contaminada (DBO₅ mayor a 30 y menor o igual a 120)
- Fuertemente contaminada (DBO₅ mayor a 120)

Fuente:

Elaboración propia con base en: Conagua. *Estadísticas del Agua en México*, 2008. México. 2008.



Mapa 6.8

Fosfato total en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2006

Concentración promedio anual (mg/L)

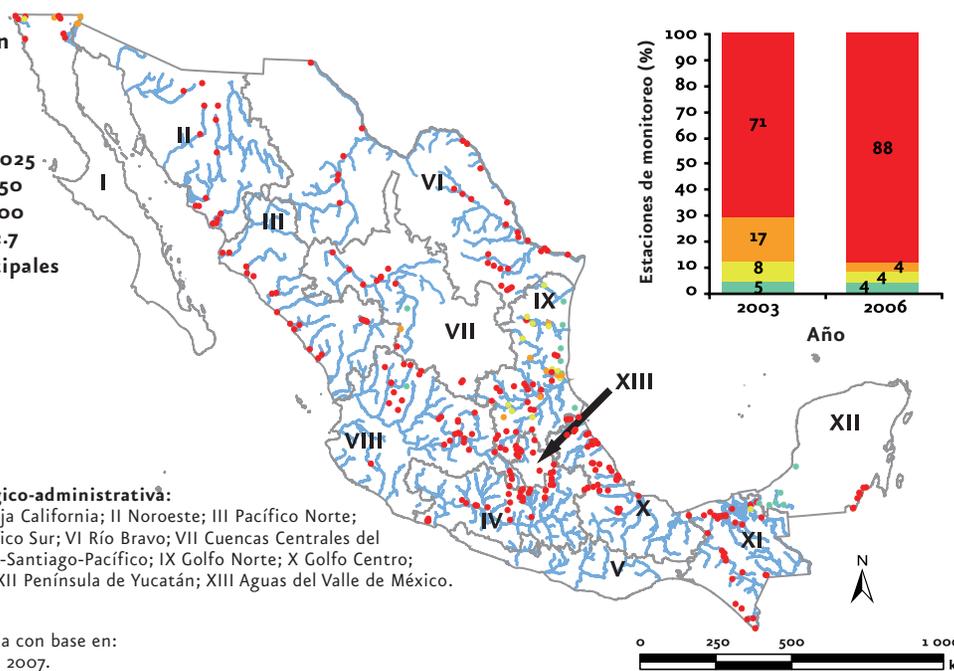
- 0
- 0.0001 - 0.025
- 0.025 - 0.050
- 0.050 - 0.100
- 0.100 - 802.7
- Ríos principales

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.

Fuente:

Elaboración propia con base en: Conagua. México. 2007.



Pacífico Sur, Cuencas Centrales del Norte, Golfo Norte y Golfo Centro, más de 75% de los sitios de monitoreo sobrepasaron ese nivel. Ese mismo año, 7.7% de los sitios de monitoreo de la región Cuencas Centrales del Norte registró concentraciones de nitrato mayores a 5 mg/L, lo que significa que en los ecosistemas acuáticos se puede favorecer el crecimiento de algas y la disminución de los niveles de oxígeno.

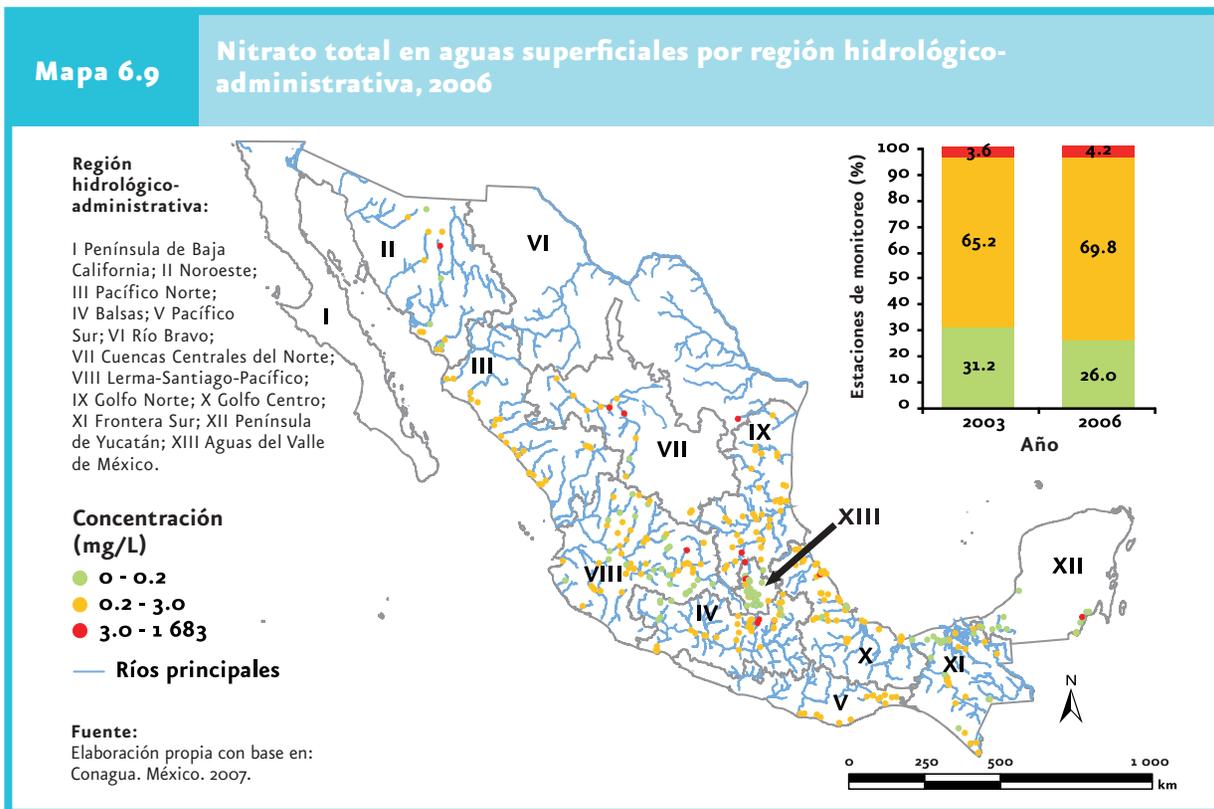
El aumento en la demanda química de oxígeno indica la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los valores superiores a 40 mg/L indican la presencia de descargas de aguas residuales crudas. En 2007, la concentración promedio anual de 32% de los sitios de monitoreo de la calidad del agua superó este límite y un poco menos de un tercio de ellos registraron valores promedio superiores a los 200

mg/L (Mapa 6.10). En las regiones Península de Baja California, Noroeste, Balsas, Lerma-Santiago-Pacífico y Aguas del Valle de México más de la mitad de los sitios de monitoreo tuvieron concentraciones promedio anual, mayores a 40 mg/L (Mapa 6.10).

Cerca de 14% de los cuerpos de agua monitoreados registró valores de DBO₅ mayores a 30 mg/L, valor que se considera el límite máximo permisible para la protección de la vida acuática en ríos.

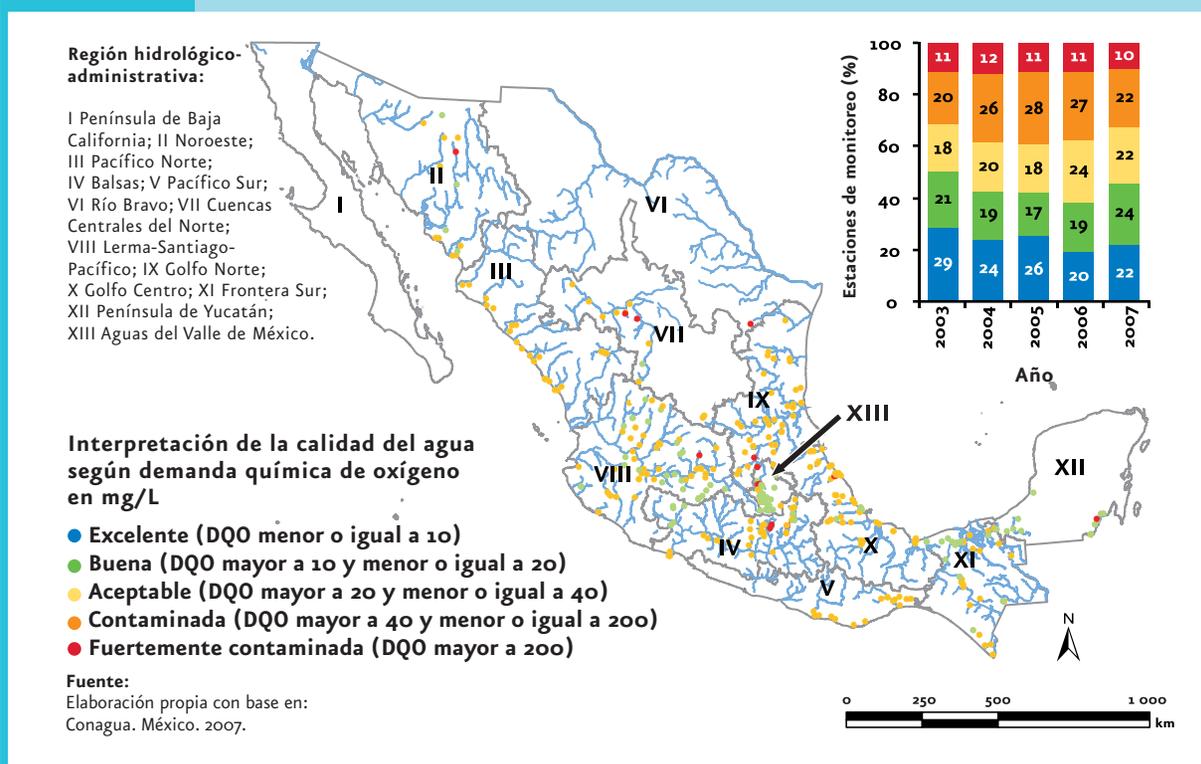
Los sedimentos se depositan en las masas de agua de forma natural y por causa de las actividades humanas. Cuando esto ocurre de manera excesiva, puede tener efectos graves sobre los recursos hídricos de una

región. La tala de bosques, la transformación de los ecosistemas naturales en tierras de cultivo o pastoreo, la urbanización y la construcción de nuevas carreteras con frecuencia se traducen en una mayor erosión del suelo y en un intenso transporte de sedimentos y contaminantes a los arroyos. El aumento de la cantidad de sedimentos



Mapa 6.10

Demanda química de oxígeno (DQO) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2007



tiene consecuencias para los ecosistemas acuáticos (afecta a los organismos del fondo de los ríos, altera la disponibilidad de alimento y la supervivencia de los peces), pero también para el manejo del agua: aumenta el desgaste de bombas y turbinas, reduce el ciclo de vida de las instalaciones hidroeléctricas y aumenta el costo de mantenimiento de los sistemas de riego. En el país, en 2007, de las 501 estaciones de monitoreo que registran sólidos suspendidos totales, 40 se consideraron que están contaminadas (5.8%) o fuertemente contaminadas (2.2%; Mapa 6.11).

Otro tipo de contaminación de la que se cuenta con información es la que ocurre por aceite y petróleo, derivada de derrames accidentales, fugas en las redes de transporte o por la descarga rutinaria durante las operaciones petroleras.

Este tipo de contaminación es muy dañina para el ambiente, ya que la mayoría de las especies acuáticas son muy susceptibles al contacto directo con los hidrocarburos y sus compuestos derivados disueltos en agua. En general, la descarga de agua congénita⁵ y la de contaminantes derivados de la actividad petrolera han disminuido entre 2000 y 2004. En cambio, el volumen de los derrames y fugas tuvo, en 2002, un aumento considerable (Figura 6.14; IB 6.2-3).

El agua contaminada que corre por ríos y arroyos no sólo tiene efectos sobre la población y los ecosistemas que la usan o se establecen en ellos, sino también en las zonas costeras en donde desembocan. Muchos de los contaminantes llegan al mar y pueden generar un efecto negativo sobre los ecosistemas marinos y la salud

⁵Es el agua salada que se encuentra dentro de la roca, asociada a los hidrocarburos. Contiene sales disueltas e incluso algunos metales que pueden tener impactos negativos en el ambiente.



Mapa 6.11

Sólidos suspendidos totales (SST) en aguas superficiales por región hidrológico-administrativa, 2007

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.

Interpretación de la calidad del agua según sólidos suspendidos totales en mg/L

- Excelente (SST menor a 25)
- Buena (SST mayor a 25 y menor o igual a 75)
- Aceptable (SST mayor a 75 y menor o igual a 150)
- Contaminada (SST mayor a 150 y menor o igual a 400)
- Fuertemente contaminada (SST mayor a 400)

Fuente:

Elaboración propia con base en: Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.

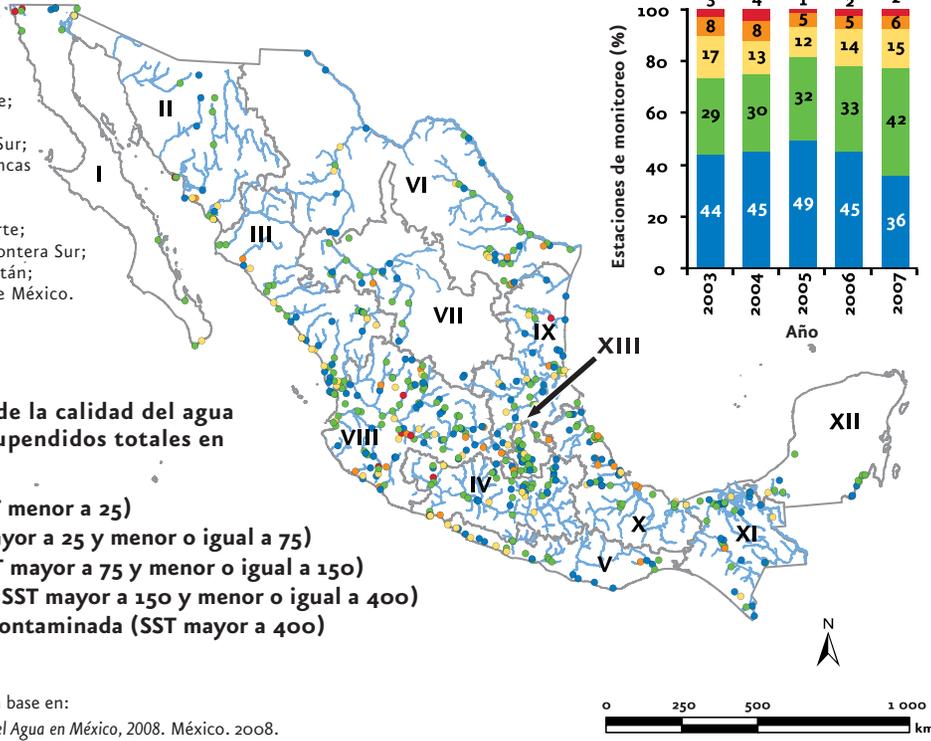
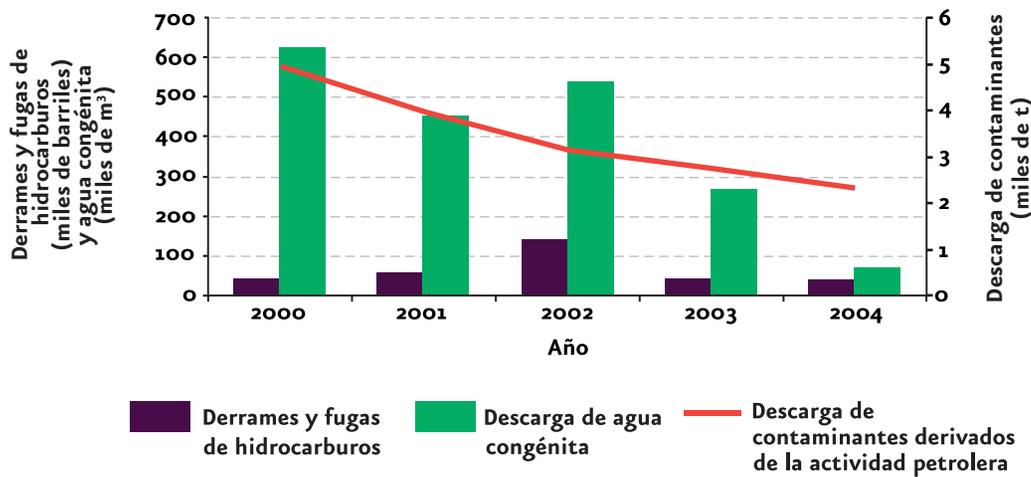


Figura 6.14

Descarga de contaminantes, fugas y derrames de hidrocarburos en aguas continentales, 2000 - 2004



Fuente:

PEMEX. Informes de Seguridad y Medio Ambiente. México. Varios años.

humana, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición. 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 por 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 para fines recreativos. Actualmente cuenta con laboratorios estatales de salud, los cuales 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 utilizan los enterococos como indicadores del grado de contaminación del agua de mar y de los riesgos sanitarios para usarla con fines recreativos. De acuerdo con la Conagua, las muestras con un contenido entre 201 y 500 enterococos en 100 mililitros no son recomendables para uso recreativo, mientras que valores mayores a 500 enterococos representan ya un riesgo sanitario. El número de sitios de muestreo ha crecido en el tiempo: mientras que en el año 2003 se muestrearon 209 sitios, para 2008 el número aumentó a 302. En ese periodo, 94% de las muestras de agua de mar colectadas en todo el país cumplieron con los criterios

aceptables de calidad (es decir, fueron aptas para el uso recreativo).

Entre los años 2003 y 2008, los estados con más sitios muestreados en donde no se cumplieron los estándares de calidad fueron Jalisco (con 9% del total de muestreos para el periodo), Chiapas (5%), Campeche, Veracruz y Sonora (3% en cada uno; Mapa 6.12). Es importante resaltar que, desde que inició el programa de monitoreo en 2003, la mayoría de los estados han registrado una mejoría en la calidad del agua.

EL AGUA Y EL BIENESTAR DE LA POBLACIÓN

Servicios y protección al ambiente

El bienestar de la población depende, en gran medida, de su acceso a servicios básicos, siendo el agua potable y alcantarillado dos de los más importantes. Estos servicios no sólo satisfacen la sed y otras necesidades domésticas como la higiene en los hogares, sino que también se ligan íntimamente a la salud de la población. Actualmente se reconoce que el agua contaminada genera 80% de las enfermedades en los países en desarrollo, la muerte anual de 2.2 millones de personas (de las cuales 50% son niños menores de 5 años) y 400 millones de casos de malaria (citado en Carabias y Landa, 2005).

Claramente ha sido imperativo para los gobiernos del mundo el impulso hacia la construcción de la infraestructura hidráulica que lleve los servicios de agua potable y alcantarillado a sus crecientes poblaciones. Sin embargo, falta mucho por hacer. Aun cuando el último informe de los Objetivos de Desarrollo del Milenio destaca que de 1990 a la fecha mil 600 millones de personas en el mundo tienen acceso a fuentes de agua potable, también reconoce que 2 mil 500 millones de personas no tienen servicios de saneamiento mejorados (UN, 2008). Por tanto, el desafío de alcanzar la cobertura total de agua potable y saneamiento en zonas urbanas y rurales permanece, para muchos países, incluido México, como uno de sus más grandes retos.

Agua potable

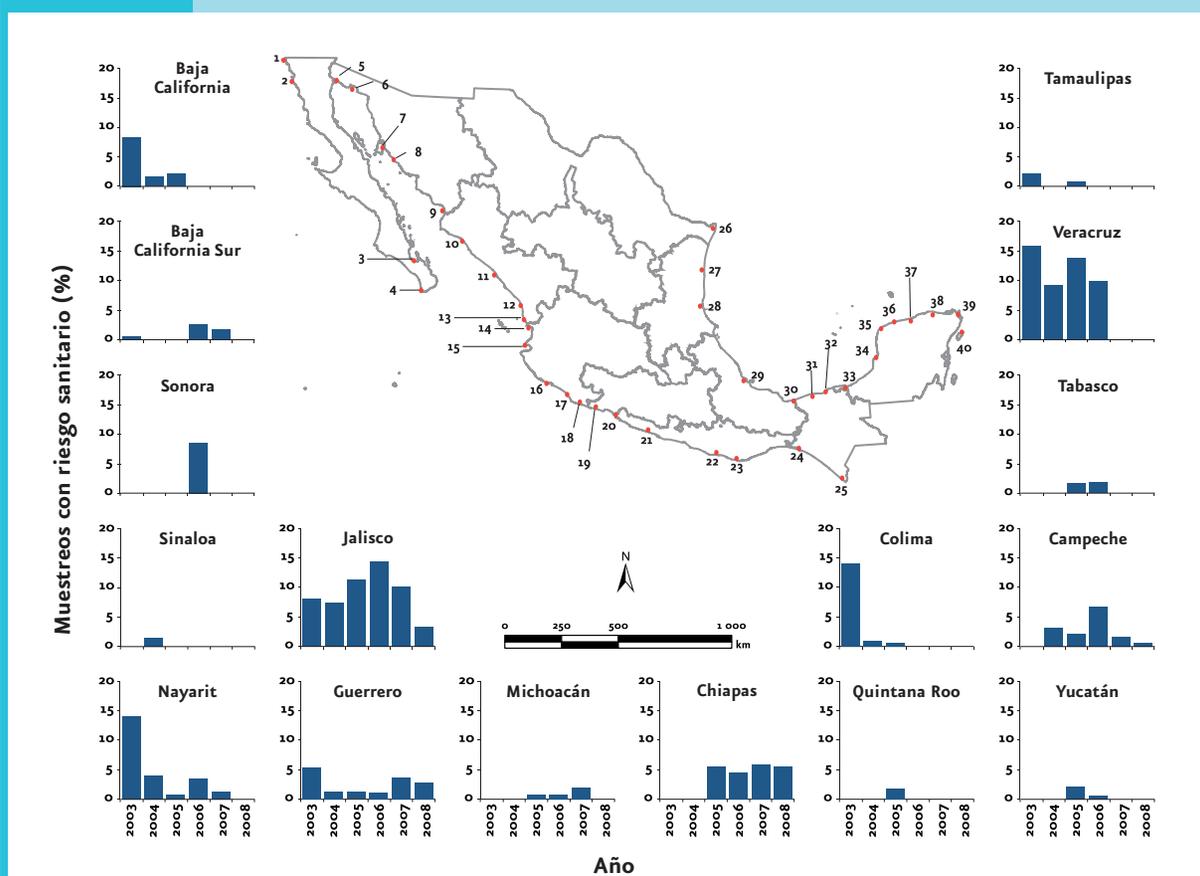
La cobertura mundial de la población con acceso a fuentes de agua apta para consumo humano se estima en alrededor de 83% (WHO-UNICEF, 2004). Sin embargo, existen grandes contrastes: países como Estados Unidos, Francia y Canadá tienen

coberturas prácticamente de 100%, mientras que el promedio de África subsahariana apenas alcanza 56% (WHO-UNICEF, 2004).

En México en el año 2000, la cobertura de agua potable alcanzó 87.9% (valor ligeramente superior al estimado para América Latina y el Caribe (de

Mapa 6.12

Destinos turísticos y porcentaje de los muestreos que representaron riesgo sanitario por entidad federativa, 2003 - 2008



Destinos turísticos:

1 Ensenada, 2 Rosarito-Tijuana, 3 La Paz, 4 Los Cabos, 5 San Luis Río Colorado, 6 Puerto Peñasco, 7 Bahía Kino, 8 Guaymas, 9 Huatabampo, 10 Bahía de Altata-Novolato, 11 Mazatlán, 12 Tecuala, 13 Santiago Ixcuintla, 14 San Blas y Compostela, 15 Bahía Banderas-Puerto Vallarta, 16 Manzanillo, 17 Coahuayana, 18 Aquila, 19 Lázaro Cárdenas, 20 Ixtapa-Zihuatanejo, 21 Acapulco, 22 Puerto Ángel y Puerto Escondido, 23 Huatulco, 24 Tonalá, 25 Tapachula, 26 Matamoros, 27 Soto la Marina, 28 Ciudad Madero, 29 Veracruz, 30 Cárdenas, 31 Paraíso, 32 Centla, 33 Campeche, 34 Ciudad del Carmen, 35 Celestún, 36 Progreso, 37 Telchac, 38 Ría Lagartos, 39 Cancún, Isla Mujeres y Rivera Maya, 40 Cozumel.

Nota:

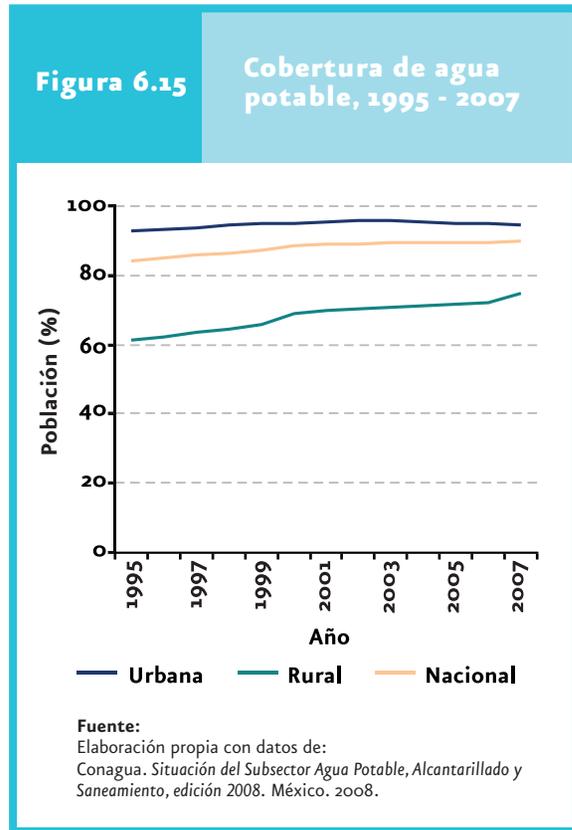
Datos al primer semestre de 2008. Se considera que el agua de mar representa riesgo sanitario cuando se encuentra por arriba del límite de 500 enterococos /100 ml.

Fuente:

Elaboración propia con datos de:
Semarnat. Sistema Nacional de información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas. México. 2008.
Disponible en: www.semarnat.gob.mx/informaciónambiental/Pages/playas.aspx Fecha de consulta: 03-10-2008.



alrededor de 85%; PNUMA, 2003) y, en 2007, ya se había incrementado a 89.9% (Conagua, 2007; **IB 2.1-11**). Entre 2000 y 2007, la cobertura en zonas urbanas pasó de 94.6 a 94.5%, mientras que en



las zonas rurales siguió siendo considerablemente menor, pasando en el mismo periodo de 68 a 74.7% (Figura 6.15, [Cuadro D3_AGUA06_02](#)).

Al interior del país, durante el mismo periodo, la mayoría de los estados incrementaron en términos reales la cobertura de este servicio, aunque existen diferencias importantes ([Cuadro D3_AGUA06_01](#)). Mientras que entidades como el Distrito Federal, Aguascalientes, Colima, Coahuila y Tlaxcala tenían en 2007 coberturas de agua potable superiores a 97%, en Guerrero se daba servicio a poco menos de 75% de la población (Mapa 6.13).

También son notorias las diferencias en los esfuerzos por incrementar la cobertura. Por ejemplo, Veracruz, San Luis Potosí, Zacatecas,

Hidalgo, Nayarit, Campeche, Oaxaca, Guerrero y Michoacán incrementaron en más de 5% la cobertura entre los años 2000 y 2007 (Figura 6.16). En contraste, otros estados como Baja California Sur, Quintana Roo y México enfrentan un problema grande, ya que las tasas de crecimiento del servicio resultan insuficientes para lograr niveles de cobertura aceptables en una población en continuo crecimiento ([Cuadro D3_AGUA06_01](#)).

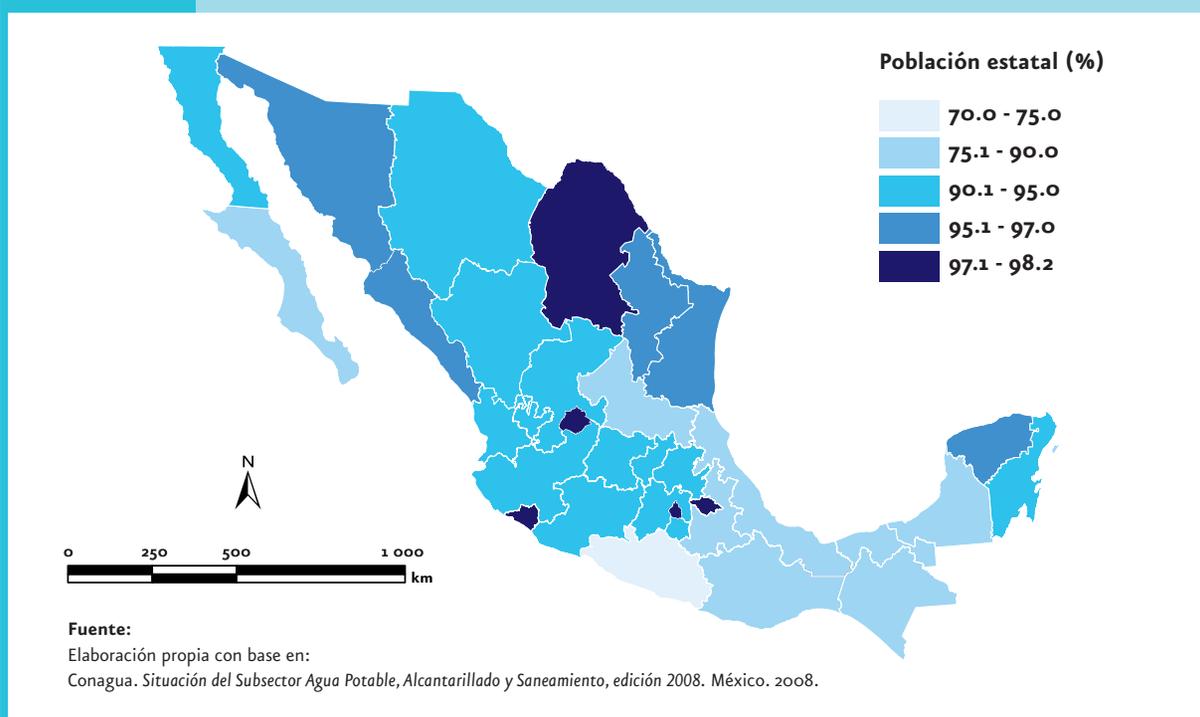
El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es importante para la salud e higiene de la población, por lo que es necesaria la construcción de instalaciones específicas para potabilizar el agua. En 2007 se suministraron, a nivel nacional, 327 mil litros de agua por segundo para consumo humano, de los cuales 96% (315 mil) fue desinfectado y 26% (86 mil) potabilizado, en su gran mayoría por el proceso de clarificación completa ([Cuadros D3_AGUA07_02](#) y [D3_AGUA07_05](#)).

Estas cifras significan que se suministraron alrededor de 278 litros por día por habitante en promedio a nivel nacional, lo que está por arriba del nivel mínimo recomendable según la ONU: 50 litros diarios por habitante para cubrir las necesidades mínimas básicas (alimento y aseo) y 100 litros para satisfacer las necesidades generales (FNUAP, 2001). A nivel estatal, en ese mismo año, Colima, Morelos, Sonora, Tabasco, Durango, Baja California Sur y Zacatecas registraron suministros superiores a 400 litros diarios por habitante, mientras que Oaxaca, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Chiapas y San Luis Potosí no sobrepasaron los 200 litros (Mapa 6.14).

En 2007, el agua potable suministrada que pasó por el proceso de potabilización completo y no sólo por desinfección fue, en promedio a nivel nacional, de 71 litros diarios por persona. Tamaulipas tuvo el mayor volumen por habitante con 319 litros diarios de agua potabilizada por persona, mientras que estados como Morelos, Nayarit, Quintana Roo, Tlaxcala y Yucatán carecen actualmente de plantas potabilizadoras en operación.

Mapa 6.13

Cobertura de agua potable por entidad federativa, 2007



Alcantarillado

En el mundo, el porcentaje de la población que cuenta con servicios de alcantarillado creció de 49 a 59% entre 1990 y 2004 (WHO y UNICEF, 2008). 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, 2008). La situación es grave a nivel mundial: las Naciones Unidas (2008) estiman que alrededor de 2 mil 500 millones de personas en el mundo no tienen acceso a servicios de saneamiento.

En México, la cobertura de alcantarillado en el país en 2007 fue de 86.1% (**IB 2.2-12**), valor superior al promedio estimado para América Latina y el Caribe, que es de 79% (PNUMA, 2003). Al igual que en la cobertura de agua potable, también en alcantarillado y drenaje

existen diferencias muy marcadas entre las zonas urbanas y rurales. En las primeras se alcanzó una cobertura de 94.2% en 2007, mientras que en las segundas apenas se cubrió 59.9% (Figura 6.17).

Entre las entidades federativas del país, el Distrito Federal, Aguascalientes, Colima, Jalisco y Nuevo León tienen coberturas mayores a 95%, mientras que los estados de Oaxaca, Guerrero y Yucatán no alcanzan el 70% (Mapa 6.15).

Los estados que tienen mayores diferencias entre la cobertura de agua potable y alcantarillado son Yucatán (28%), Oaxaca (15%) y Tamaulipas (13%).

Aunque todas las entidades federativas tuvieron un incremento en su cobertura de alcantarillado entre 2000 y 2007, sobresalen Oaxaca, Campeche, San Luis Potosí,

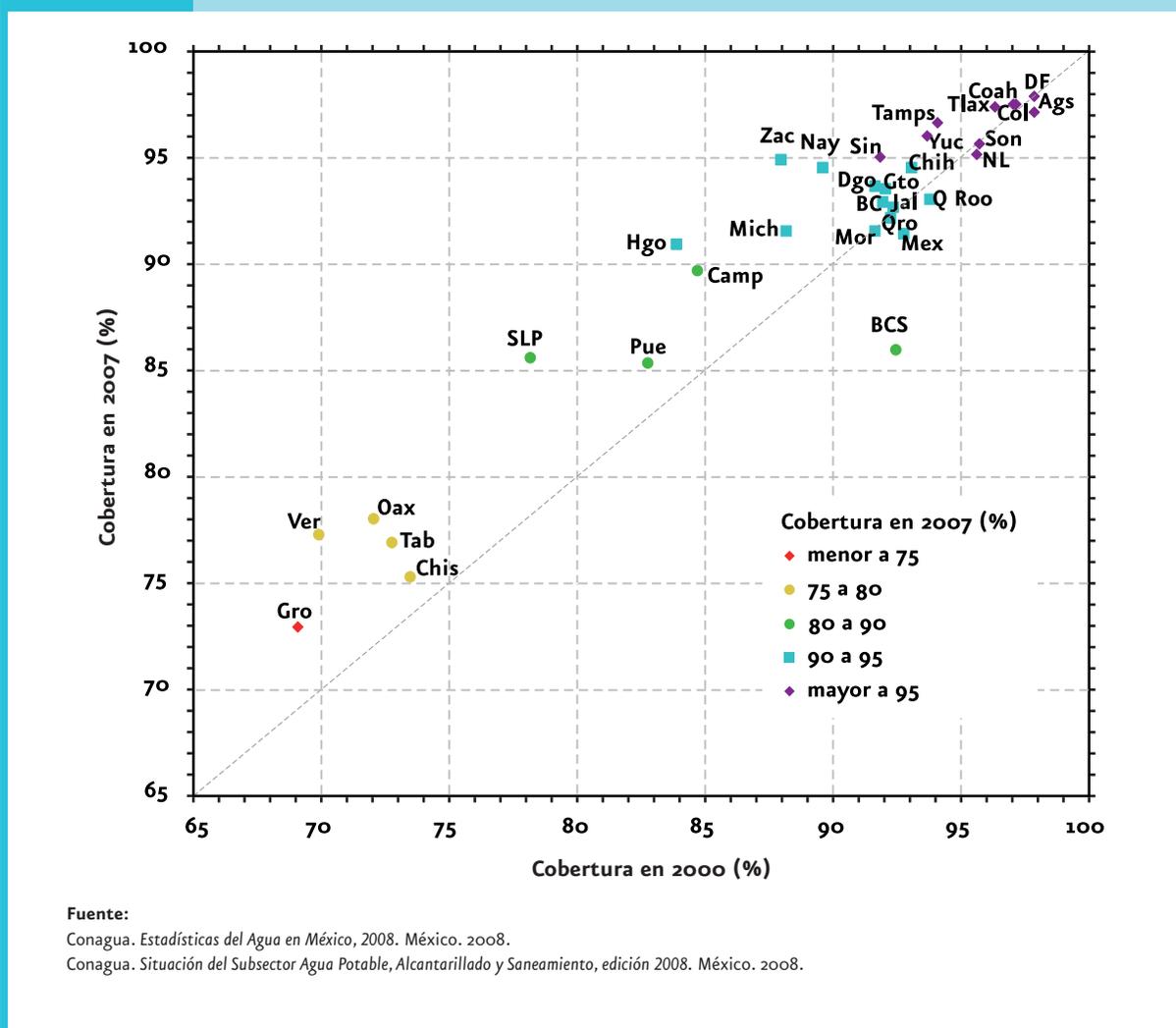
Puebla, Guerrero, Zacatecas, Sinaloa, Chiapas e Hidalgo, con incrementos superiores a 15% (Figura 6.18; **Cuadro D3_AGUA06_04**).

En México la cobertura de agua potable alcanzó en 2007, 89.9%.



Figura 6.16

Incremento en la cobertura de agua potable por entidad federativa, 2000 - 2007



Tratamiento de aguas residuales

En los países en desarrollo es todavía poco común que el agua residual reciba tratamiento. Entre 85 y 95% del agua residual en el mundo es descargada directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir ningún tratamiento previo (FNUAP, 2001; Vörösmarty *et al.*, 2005).

México trató en 2007 cerca del 25.3% del caudal generado, considerando ambos tipos de descargas: municipales (32.6% del total municipal generado) e industriales (15.8%; Figura 6.19). Aunque la

cantidad de agua que se trata aún resulta baja, está por encima del promedio de América Latina, que apenas llega a 13%. Como es evidente, la mayoría de los cuerpos de agua superficiales del país reciben continuamente 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. No debe olvidarse que la reducción de la calidad del agua de los cuerpos superficiales y subterráneos agrava aún más la escasez del líquido, ya que no puede ser empleado, en muchas ocasiones, sin tratamiento previo.

Mapa 6.14

Suministro de agua potable per cápita por entidad federativa, 2007

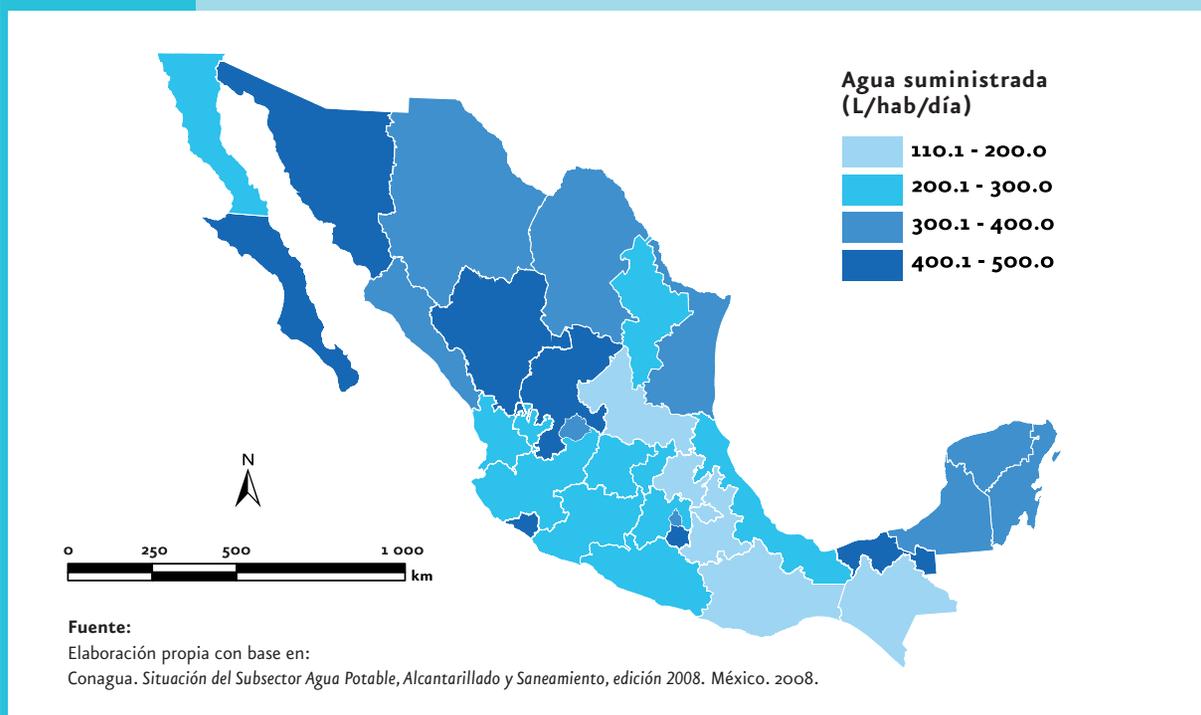
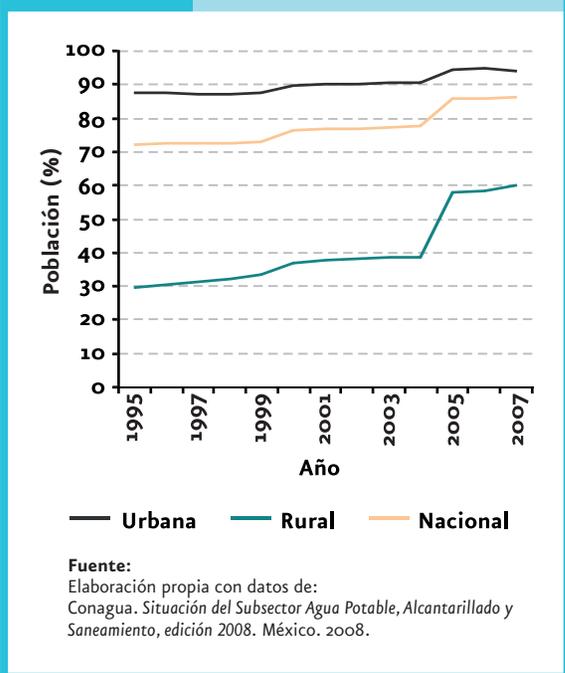


Figura 6.17

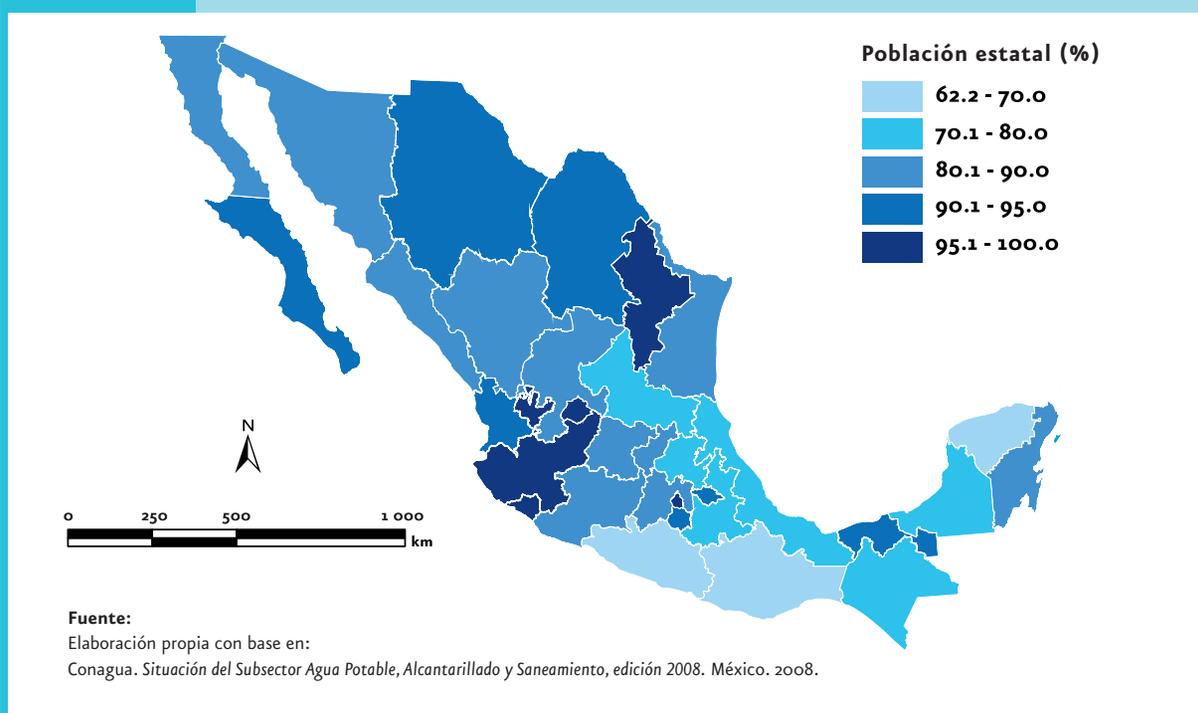
Cobertura de alcantarillado, 1995 - 2007



En 2007 se estimó que los centros urbanos del país generaron 243 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, de las cuales 85% (207 m³/s) se colectaron en el alcantarillado, lo que significa un incremento de 5% con respecto al volumen colectado en 2003. Del caudal colectado en 2007, 38% (79.3 m³/s) recibió algún tipo de tratamiento (*Cuadro D3_AGUA07_093*). Cuando se relaciona la eficiencia de captación y el tratamiento del agua colectada, se obtiene que a nivel nacional, en 2007, tan sólo 32.6% del agua residual municipal se trata antes de ser vertida a los cuerpos de agua (Mapa 6.16, IC 12). Solamente Nuevo León, Baja California y Aguascalientes dan tratamiento a más de 90% del agua residual que se colecta en los sistemas de alcantarillado.

A nivel nacional en el año 2007 se trataron en promedio 65 litros diarios de agua residual por habitante, con grandes diferencias entre los estados, ya que Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Durango,



Mapa 6.15**Cobertura de alcantarillado por entidad federativa, 2007**

Quintana Roo, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Colima y Nuevo León procesaron volúmenes por encima de 100 litros diarios por persona, mientras que Campeche, Hidalgo y Yucatán no llegaron a 10 litros diarios por habitante (Mapa 6.17). La mayor parte del agua municipal tratada en el país recibe tratamiento secundario mediante lodos activados y lagunas de estabilización, procesos que tienen una eficiencia de entre 80 y 90% para la remoción de DBO (Figura 6.20; [Cuadro D3_AGUA07_093](#)).

Un indicador aproximado 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 Nuevo León, Aguascalientes, Quintana Roo y Baja California con una relación entre el agua tratada y la suministrada mayor a 50%; en contraste, Yucatán, Campeche e Hidalgo no alcanzan 6 % (Mapa 6. 18).

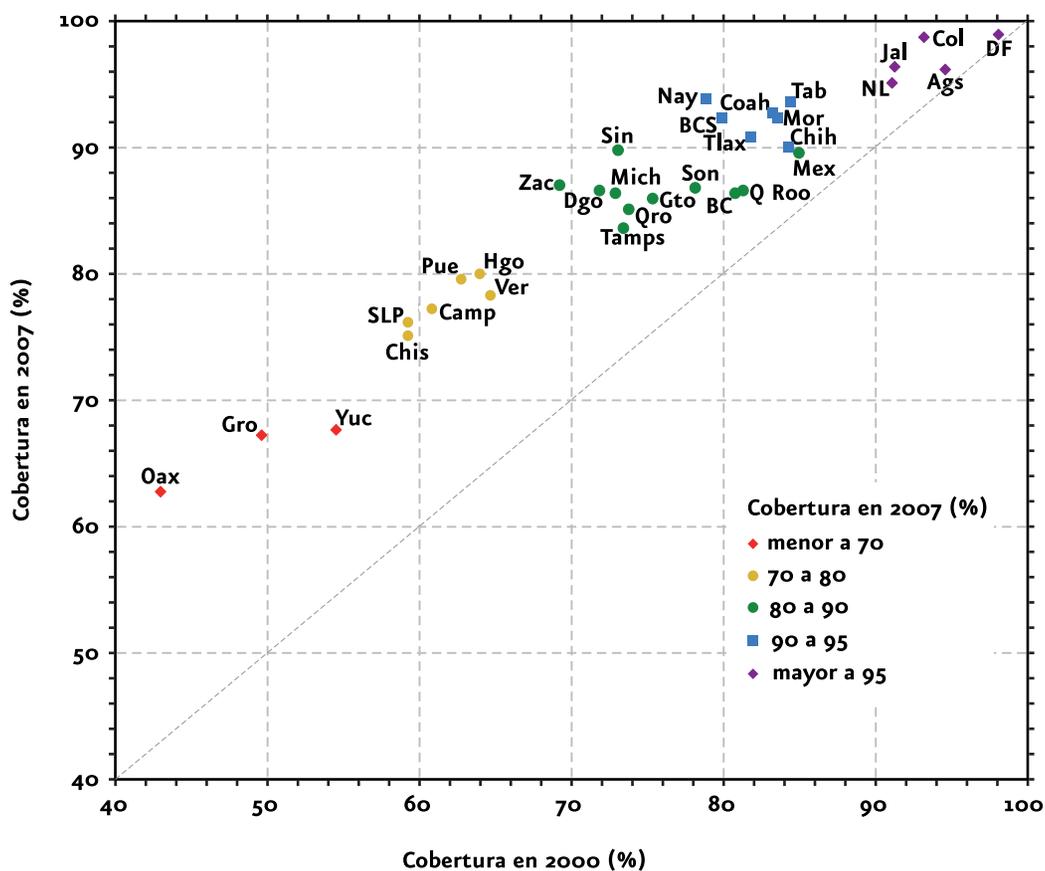
A diciembre de 2007, el país contaba con 2 mil 21 plantas de tratamiento de agua residual industrial en operación y procesaban 29.9 metros cúbicos por segundo (16% del agua generada). El tipo de tratamiento más utilizado es el secundario en mil 119 plantas y con un gasto de operación de 15 mil 90 litros por segundo. Veracruz es el estado que produce mayor volumen de descargas y también el que procesa más agua residual con cerca de 30% del total nacional, seguido por Nuevo León, el Estado de México, Michoacán, Morelos y Jalisco, que dan tratamiento a más de mil litros por segundo ([Cuadro D3_AGUA07_13](#)).

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 relacionados. Los ecosistemas acuáticos, tanto los dulceacuícolas como los costeros y oceánicos,

Figura 6.18

Incremento en la cobertura de alcantarillado por entidad federativa, 2000 - 2007



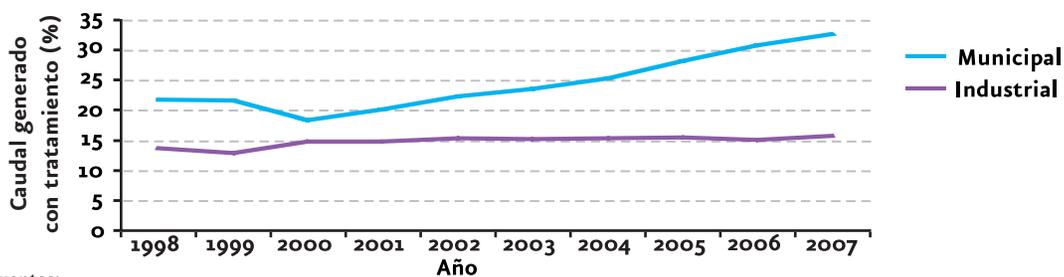
Fuentes:

Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.

Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2008. México. 2008.

Figura 6.19

Tratamiento del agua residual, 1998 - 2007



Fuentes:

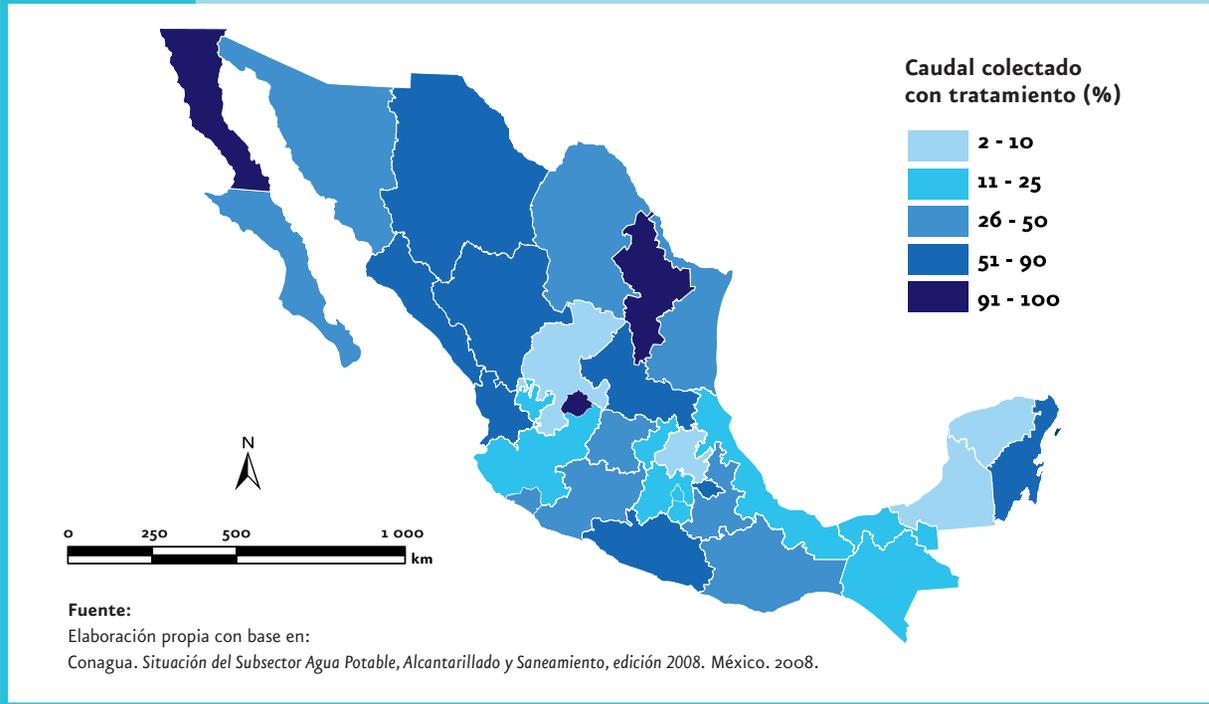
Semarnap, INEGI. Estadísticas del Medio Ambiente 1999. México. 2000.

Conagua. Estadísticas del Agua en México, 2008. México. 2008.

Conagua. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, edición 2008. México. 2008.

Mapa 6.16

Tratamiento de agua residual por entidad federativa, 2007

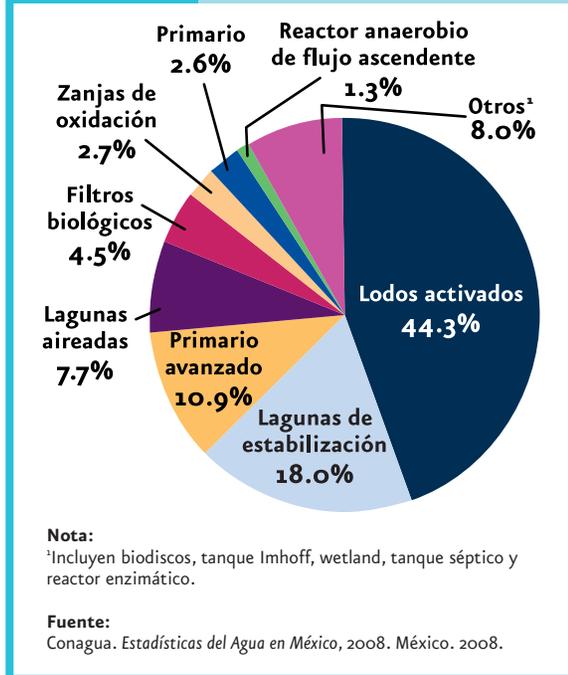


participan de manera importante en el ciclo hidrológico, actuando por un lado, como los reservorios más importantes de agua, y por otro, como las fuentes primarias del vapor de agua que alcanza la atmósfera y posteriormente regresa a ellos en forma de precipitación y escurrimientos. En este sentido, 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.

Los cuerpos de agua continentales se forman por la interacción de la orografía y la entrada del agua proveniente de la lluvia o del derretimiento de la nieve o el hielo de los glaciares. En ellos se desarrolla una amplia gama de ecosistemas que van desde las charcas y ríos intermitentes, hasta los manantiales, ríos permanentes, lagos, lagunas

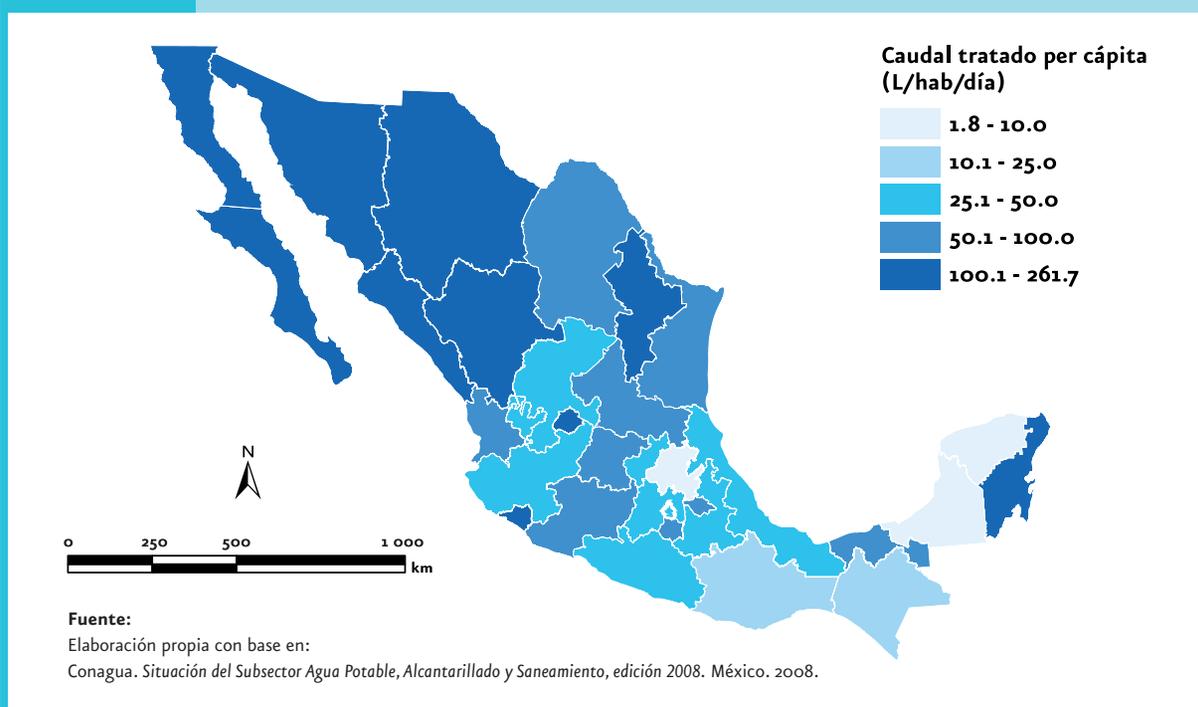
Figura 6.20

Agua municipal residual tratada según proceso, 2007



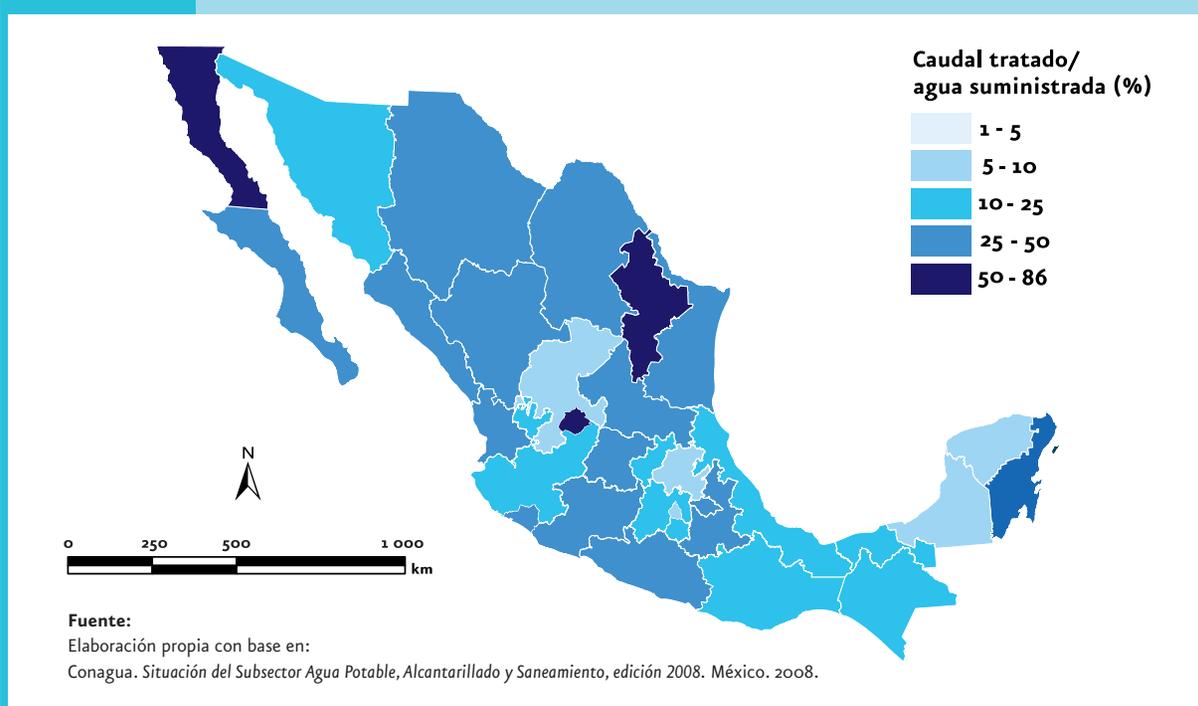
Mapa 6.17

Tratamiento de agua residual municipal per cápita por entidad federativa, 2007



Mapa 6.18

Tratamiento de agua residual municipal con respecto al agua suministrada por entidad federativa, 2007



y esteros. Sus características ecológicas varían dependiendo de las condiciones particulares de sus cuencas, así como del clima, suelo, tipo de vegetación y biodiversidad. Los ecosistemas acuáticos continentales pueden dividirse en sistemas lóticos, es decir, aquéllos cuyas aguas están en movimiento y corresponden principalmente a las corrientes superficiales (p.e. ríos y arroyos) y los sistemas lénticos, los cuales son almacenamientos de agua, ya sea naturales o artificiales (p.e. lagos, embalses y presas; Arriaga *et al.*, 2000).

Los ríos que drenan hacia el Pacífico son generalmente pequeños, de flujo rápido y con pendientes pronunciadas, mientras que los que desembocan en el Golfo de México y el Caribe son, por lo general, grandes, caudalosos y con pendientes suaves. Los ríos más importantes por su volumen medio anual son, en la vertiente del Pacífico, el Colorado, Yaqui, Fuerte, Culiacán, Lerma-Santiago, Balsas, Papagayo, Ometepepec, Verde, Tehuantepec y Suchiate; en la vertiente del Golfo, el Bravo, Pánuco, Tuxpan, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta y, para la vertiente del Mar de las Antillas, el Hondo. Los ríos del interior más importantes son el Nazas-Aguanaval, Santa María, Casas Grandes y El Carmen.

Dentro de los cuerpos de agua lénticos existen alrededor de 70 lagos de tamaño muy diverso que, en conjunto, cubren una superficie cercana a las 371 mil hectáreas. El mayor número de lagos en el país se localiza en la zona del Eje Volcánico Transversal, asociados principalmente al sistema Lerma-Santiago. La zona centro-occidente (que incluye los estados de Jalisco y Michoacán) es la más importante, ya que alberga los lagos más grandes: Chapala, Cuitzeo y Pátzcuaro. Los embalses artificiales también son notables, ya que las más de 4 mil obras de almacenamiento que existen actualmente cubren una superficie mayor a la de los embalses naturales. Los embalses

artificiales más grandes del país son las presas La Amistad, Falcón, Vicente Guerrero, Álvaro Obregón, Infiernillo, Cerro del Oro, Temascal, Caracol, Requena y Venustiano Carranza.

En México existe una gran diversidad de ecosistemas con influencia marina. El litoral mexicano se extiende por alrededor de 11 mil kilómetros, bañado por las aguas de tres grandes cuencas marinas: el Océano Pacífico, el Golfo de México y el Mar Caribe. La longitud del litoral y su diversidad de ambientes permiten la existencia de multitud de ecosistemas naturales que incluyen manglares, lagunas costeras, marismas, esteros, planicies de marea, islas de barrera, comunidades de pastos marinos y arrecifes de coral. De igual modo, la enorme extensión de su zona económica exclusiva (de alrededor de 315 millones de hectáreas, es decir, 1.6 veces su superficie terrestre) suma una gran diversidad de ambientes, como cañones submarinos, planicies abisales, montes y volcanes submarinos, trincheras y ventilas hidrotermales, los que sin duda enriquecen significativamente la biodiversidad nacional.

Los ecosistemas acuáticos participan de manera importante en el ciclo hidrológico.

Biodiversidad dulceacuícola y marina

En números absolutos, los ecosistemas acuáticos continentales tienen relativamente pocas especies, pero su número por unidad de área es ligeramente superior al encontrado en ecosistemas terrestres y cerca de 15 veces superior al observado para los ecosistemas marinos (Arriaga *et al.*, 2000; Tabla 6.4). La riqueza de especies acuáticas en el mundo es muy elevada: 40% de las 25 mil especies conocidas de peces viven en agua dulce, aunque los lagos y ríos tan sólo representan 0.3% del agua en el planeta (PNUMA, 2004).

Estimaciones para el territorio nacional señalan que la fauna acuática continental asciende a 384 especies de peces, 280 de anfibios, 41 de reptiles y 361 aves de ambientes acuáticos (Aguilar, 2003).

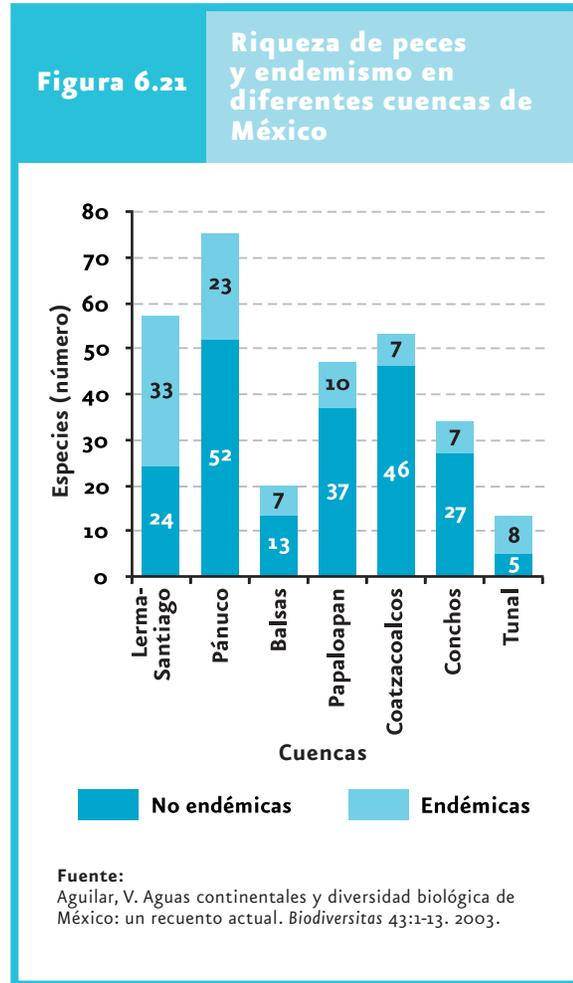
Riqueza relativa de especies en los ecosistemas dulceacuícolas, terrestres y marinos			
Tabla 6.4			
Ecosistemas	Extensión del hábitat (% del mundo)	Diversidad de especies (% de las especies conocidas)	Riqueza relativa de especies
Dulceacuícolas	0.8	2.4	3
Marinos	70.8	14.7	0.2
Terrestres	28.4	77.5	2.7

Fuente:
Arriaga, L., V. Aguilar Sierra y J. Alcocer Durand. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. México. 2000.

Los ríos con más diversidad de peces son el Pánuco (75 especies, 30% endémicas), Lerma-Santiago (57 especies, 58% endémicas), Coatzacoalcos (53 especies, 13% endémicas) y Papaloapan (47 especies, 21% endémicas; Miller, 1986; Figura 6.21). La riqueza de la flora se estima en 763 especies de plantas acuáticas, entre helechos, gimnospermas y angiospermas (Aguilar, 2003).

Algunos de los sistemas lacustres más importantes por su biodiversidad y alto número de endemismos conocidos son el lago de Chapala, los lagos-cráter de la Cuenca Oriental, el lago de Catemaco, la laguna de Chichankanab y el lago de la Media Luna. Cuatro Ciénegas, en el estado de Coahuila, es un sitio particularmente importante, ya que en esta pequeña zona viven 12 especies de crustáceos (la mitad endémicos), 33 de moluscos, 16 de peces

Cuarenta por ciento de las 25 mil especies conocidas de peces en el mundo viven en agua dulce, aunque los lagos y ríos tan sólo representan 0.3% del agua en el planeta.



(la mayoría endémicas y en peligro de extinción: *Dionda episcopa*, *Cyprinodon atrorus*, *Lucania interioris* y *Cichlasoma minckleyi*, entre otras), una herpetofauna de 70 especies y 61 aves acuáticas (Arriaga et al., 2000).

La biodiversidad marina de México, como en el mundo entero, es menos conocida que la de los ambientes dulceacuícolas y terrestres. Las dificultades técnicas y el costo económico de la investigación del ambiente marino han limitado significativamente el conocimiento biológico que se tiene de él. Los estudios que se poseen abarcan, en muchos de los casos, regiones o

localidades muy particulares, lo que dificulta obtener cifras nacionales. Aguilar y colaboradores (2008) estiman que la relación de estudios sobre biodiversidad terrestre y marina a nivel mundial es de aproximadamente de diez a uno. A pesar de ello, de algunos grupos se tiene información confiable sobre su riqueza de especies. Para los corales hermatípicos o formadores de arrecifes se ha estimado para México entre 63 y 81 especies, lo cual representa entre 8 y 10% de las especies conocidas globalmente (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993; Spalding *et al.*, 2001). En cuanto a los mamíferos marinos, se reconocen 45 especies, la mayoría en el Golfo de California (Conabio, 2006), mil 600 especies de algas marinas, entre mil y mil 300 de poliquetos, cerca de 2 mil de crustáceos y poco más de 500 de equinodermos (Arriaga *et al.*, 1998).

Bienes y servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas naturales proveen de multitud de bienes y servicios 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 (ver también los capítulos de *Ecosistemas terrestres* y *Biodiversidad*). Actualmente, el reconocimiento de la importancia de los bienes y servicios ambientales se ha fortalecido en virtud de la dificultad, tanto económica como técnica, de sustituirlos una vez que los ecosistemas han sido degradados o destruidos en una región.

Aunque el agua dulce para el consumo humano es uno de los bienes más importantes que los ecosistemas acuáticos continentales brindan a la humanidad, existen otros no menos importantes (Tabla 6.5; ver para más información Daily *et al.*, 1997, Wilson y Carpenter, 1999, MEA, 2005). Por ejemplo, en cuanto a bienes que se

cotizan directamente en el mercado, además del agua potable, podemos distinguir su utilidad como medios para el transporte humano y de mercancías (p.e. en el caso de ríos y lagos), la generación de energía eléctrica, el abasto de alimentos (p.e. peces, moluscos y crustáceos, entre otros) y la irrigación de las tierras agrícolas. En el caso de los bienes y servicios no cotizados en el mercado, debemos destacar el papel que los humedales tienen 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 rica 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 nutrimentos (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.

Los ecosistemas costeros y oceánicos también son proveedores de múltiples bienes y servicios ambientales. Además de los productos pesqueros que brindan una importante proporción de la ingesta proteica de la población mundial o de materias primas para la construcción (p.e. piedra caliza y arena), los ecosistemas costeros (manglares y arrecifes de coral) protegen a las poblaciones costeras del embate de los fuertes vientos y el oleaje producidos por las tormentas tropicales y huracanes, sirven de sitios de cría para muchas especies comerciales y mantienen una gran biodiversidad (Tabla 6.6).

Aun cuando las estimaciones del valor económico de los servicios ambientales son escasas dada la dificultad que implica su cálculo, se ha estimado que en el caso de los ecosistemas acuáticos puede alcanzar varios miles de dólares por hectárea, lo cual se traduce en beneficios “gratuitos” para la población que, de no seguir existiendo,

Tabla 6.5

Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas dulceacuícolas y costeros*

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 de culturales									
Espiritual e inspiracional: bienestar y significado religioso	●●	●●	●●	●	●	●●	●	●	●●
Recreación: turismo y actividades recreativas	●●	●●	●●	●	●	●●	●		●●
Valor estético	●	●	●	●	●	●			●●
Educación e investigación científica	●●	●●	●	●	●	●		●	●

Tabla 6.5

Magnitud relativa de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas dulceacuícolas y costeros¹ (conclusión)

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:

Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.) *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Volume 1. Island Press. Washington. 2005.

Tabla 6.6

Importancia de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas marinos oceánicos¹

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	●	●	●	●
<p>Nota: ● 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.</p>				

Fuente:

Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.). *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Volume 1. Island Press. Washington. 2005.

representarían una inversión económica cuantiosa (Tabla 6.7). 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: el valor económico de dicha producción se ha estimado en alrededor de 37 mil 500 dólares por hectárea de manglar (Aburto-Oropeza, et al., 2008). Debe recordarse que la pérdida de la biodiversidad y la integridad de estos ecosistemas pueden ocasionar la disminución de la cantidad y calidad de los bienes y servicios ambientales que brindan.

Tabla 6.7	
Humedales: valor promedio estimado de sus bienes o servicios ambientales	
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. and L. Brander. *Living Waters: Conserving the Source of Life. The economic value of the World's wetlands.* WWF. Switzerland. 2004.

Servicios ambientales de los ecosistemas acuáticos: el caso de la 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. La pesca aporta, para al menos 2 mil 600 millones de personas en el mundo, alrededor de 20% de su ingesta anual de proteínas (UNEP, 2007).

Las estimaciones preliminares de la pesca mundial para 2005, basadas en los informes de algunos de los principales países pesqueros, indican que la producción (que incluyó tanto la captura continental y marina como la acuicultura) alcanzó las 142 millones de toneladas, cifra mayor en un millón de toneladas a la registrada en 2004 y que representa una producción récord globalmente. Por su parte, es notorio que la acuicultura es el sector de la producción de alimentos de origen animal que ha crecido más rápidamente, con una tasa anual cercana a 8.8% desde 1970. En contraste, la captura pesquera ha crecido tan sólo a razón de 1.2% y los sistemas de producción de carne en tierra, lo hacen a 2.8% (FAO, 2007). La importancia de la acuicultura representa globalmente 22% de la producción pesquera y 40% del pescado consumido como alimento (MEA, 2005).

La producción pesquera nacional se ha mantenido relativamente constante en los últimos años, contabilizando en promedio 1.464 millones de toneladas anuales para el periodo 1986-2006 (Figura 6.22; [Cuadro D2_PESCA01_02](#)). Para este último año, la producción en peso vivo fue de alrededor de 1.5 millones de toneladas, de la cual 83% provino de la captura pesquera y 17% del cultivo o pesquerías acuiculturales ([Cuadros D2_PESCA01_02](#) y [D2_PESCA02_01](#); **IB 2.2-6**).



Si se analiza la producción pesquera regionalmente, los estados del litoral del Pacífico aportaron entre 1997 y 2006 el 76% de la producción, con alrededor de 14.6 millones de toneladas anuales en promedio, mientras que los estados del litoral del Golfo y el Caribe produjeron 22% (alrededor de 318 millones de toneladas anuales) y aquéllos sin litoral tan sólo 2% (33 mil toneladas anuales) del total de la producción pesquera nacional (Sagarpa, 2007; Figura 6.23; [Cuadro D2_PESCA01_01](#)).

Figura 6.22

Producción pesquera y acuícola nacional, 1996 - 2006

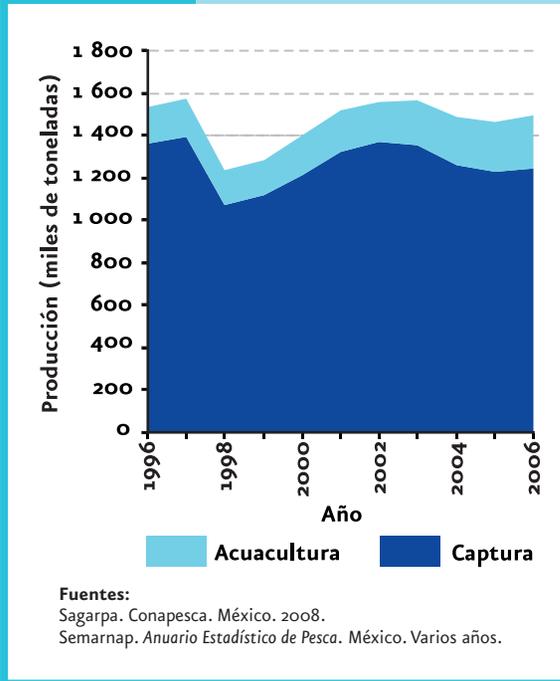
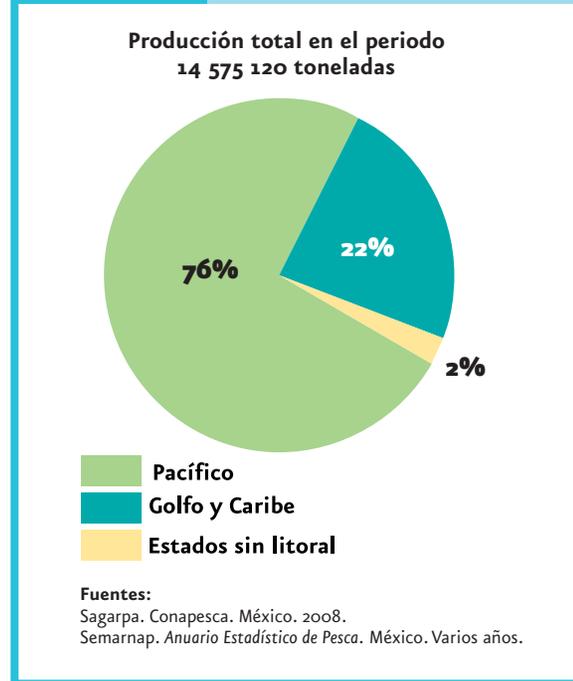


Figura 6.23

Producción pesquera según origen, 1997 - 2006



En 2006, del total de la producción pesquera nacional, incluyendo la captura y la acuicultura, más del 50% (cerca de 866 mil toneladas) fue aportado por sólo cuatro pesquerías (túnidos, sardina, escama y camarón), y de éstas, la pesquería de sardina representó 35%, con una producción estimada de más de 500 mil toneladas. Los estados que aportaron los mayores volúmenes de la producción pesquera en ese mismo año fueron Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, con más de 897 mil toneladas anuales en conjunto (Mapa 6.19; Cuadro D2_PESCA01_01).

Impactos sobre la biodiversidad acuática continental

La fuerte dependencia que tienen las sociedades humanas de los bienes y servicios ambientales que ofrecen los cuerpos de agua continentales ha puesto en peligro la existencia de muchas de sus especies, y con ello, la integridad y el

funcionamiento adecuado de los ecosistemas que habitan. En general, puede decirse que el grado de amenaza que sufren los ecosistemas acuáticos continentales es mayor que el de los ecosistemas forestales o costeros (Revenga et al., 2000). La contaminación, la sobreexplotación y la introducción de especies invasoras representan una amenaza adicional para la biodiversidad: aproximadamente 20% de las especies de peces de agua dulce se consideran amenazadas, en peligro o extintas en décadas recientes debido a estas presiones (Revenga et al., 2000). Más de 50% de los ecosistemas acuáticos continentales (excluyendo lagos y ríos) se han perdido en algunas regiones de Norteamérica, Europa y Australia (Finlayson y D’Cruz, 2005; ver el Recuadro *Problemas globales de los ecosistemas marinos*).

Las presiones sobre los ecosistemas dulceacuícolas y su biodiversidad se ejercen en dos frentes distintos: de manera directa, a través del impacto

Los océanos, tanto por su extensión, como por la diversidad de ambientes que abarcan y de servicios ambientales que proporcionan, tienen un valor con frecuencia subestimado. Cubren 71% de la superficie del planeta, y contienen mil 365 millones de kilómetros cúbicos de agua (97.5% del agua del planeta). Por su volumen, son un importante componente del ciclo hidrológico, ya que la evaporación de agua de su superficie aporta la humedad que se precipita en forma de lluvia y mantiene a los ecosistemas que se desarrollan sobre los continentes. Absorben gran parte de la energía solar que llega a la Tierra, almacenándola y distribuyéndola como calor por medio de las corrientes oceánicas, regulando la temperatura del planeta y moderando el clima regional. Son un componente clave del ciclo del carbono y del balance térmico del planeta, ya que absorben gran cantidad del bióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera que, de otra manera, contribuiría a incrementar el efecto invernadero del planeta.

Las regiones costeras, por ser zonas de transición entre los ambientes terrestre y marino, permiten el desarrollo de una gran variedad de ecosistemas, que van desde las lagunas costeras, deltas fluviales, marismas y arrecifes coralinos, hasta manglares y praderas de pastos marinos. Estos ecosistemas proporcionan servicios ambientales como la producción de alimentos, la protección contra la erosión de la costa e inundaciones, zonas de reproducción, alimento y refugio de especies pesqueras, reciclaje de nutrientes,

suministro de materiales y medicinas, control de enfermedades, procesamiento de residuos, regulación atmosférica y condiciones favorables para el desarrollo turístico y la recreación (Hassan *et al.*, 2005, Beck *et al.*, 2003).

Conforme un mayor número de personas vive cerca de las costas oceánicas, aumenta la demanda de recursos y los proyectos de desarrollo y urbanización que ejercen una fuerte presión sobre los ecosistemas y los servicios ambientales que proveen. La alteración física y la destrucción de los hábitats son las amenazas más importantes para las zonas costeras. Adicionalmente, las actividades humanas tierra adentro tienen impacto en las costas a través del transporte de contaminantes y nutrientes por los ríos (Howarth *et al.*, 2000), por la modificación de los ecosistemas naturales y la alteración del flujo hídrico. Por su parte las actividades en el océano extraen recursos, contaminan y cambian la composición de especies (UNEP, 2002).

La pérdida de servicios ambientales, tales como el control de inundaciones, el filtrado de contaminantes o la productividad pesquera, puede tener consecuencias graves para las poblaciones humanas. Son ejemplos particularmente preocupantes de la situación de los océanos la disminución de la captura pesquera, el aumento en el número y superficie de zonas marinas muertas a consecuencia de la contaminación y el blanqueamiento de los arrecifes de coral.

1. Recursos pesqueros en declive

Los océanos proporcionan una de las mayores reservas de alimento del planeta. En total, los alimentos de origen marino aportan al menos 20% de las proteínas de la dieta de 2 mil 600 millones de personas. En un principio, el volumen capturado era una fracción pequeña de las poblaciones de cada recurso. Sin embargo, conforme creció la demanda de alimentos también mejoraron las tecnologías de navegación y pesca, lo que ha traído como consecuencia una presión cada vez mayor sobre los océanos y sus recursos (Pauly y Zeller, 2006). Según la FAO (2009), en 2007 el 80% de las poblaciones de peces estudiadas a nivel mundial se encontraban en diferentes categorías de explotación (19% sobreexplotadas, 8% agotadas, 1% en recuperación y 52% en su máximo aprovechamiento). Las áreas con una mayor proporción de poblaciones en su máximo aprovechamiento son el Atlántico nororiental, el océano Índico occidental y el Pacífico noroccidental. Tan sólo 20% de las poblaciones eran objeto de una explotación moderada o estaban subexplotadas. Esto parece confirmar que se ha alcanzado el potencial máximo de la pesca de captura en los océanos del mundo y que es necesario un reordenamiento y control de la pesca mundial.

Conforme aumenta la presión sobre los recursos pesqueros, se pesca cada vez más a niveles inferiores de la cadena trófica: la pesquería comienza capturando peces de gran

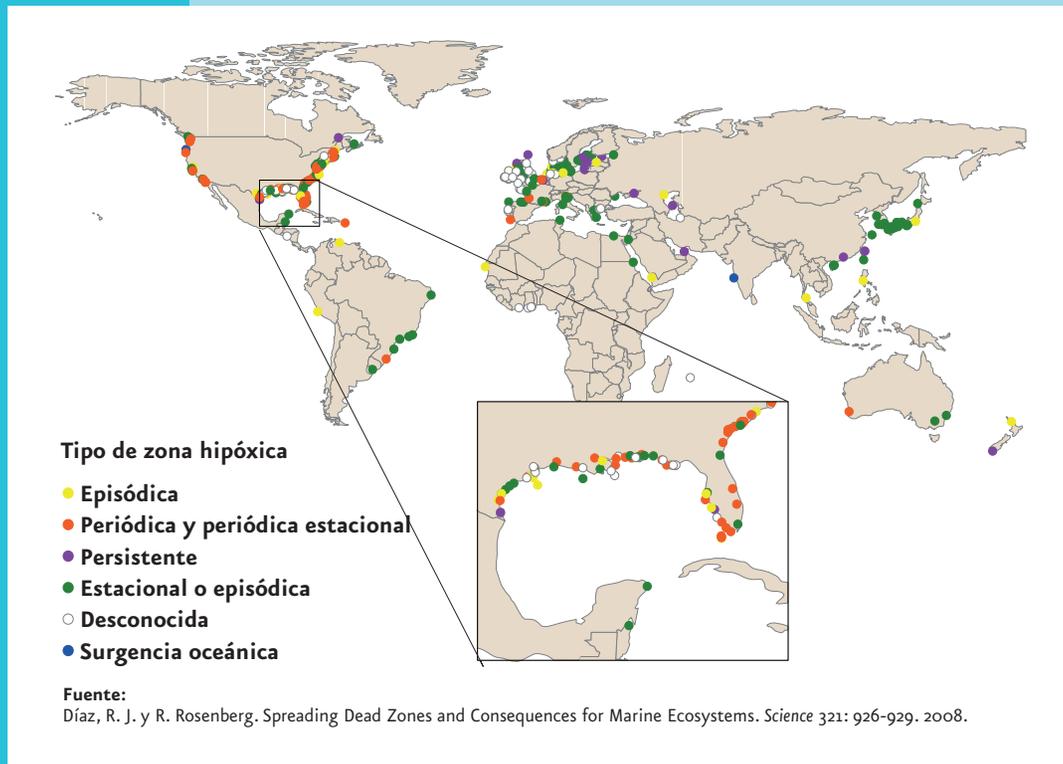
tamaño (depredadores de alto nivel en la red trófica) y gradualmente se desliza a capturar peces pequeños conforme el recurso inicial se vuelve menos abundante. Este proceso ocurre prácticamente en todas las pesquerías del mundo, con frecuencia acompañado de la destrucción del hábitat (Pauly y Zeller, 2006).

El impacto de las actividades pesqueras es de tal magnitud que ninguna región oceánica se encuentra libre de las presiones antropogénicas: se estima que 41% de la superficie marina es afectada simultáneamente por varios factores antropogénicos (Halpern *et al.*, 2008).

2. Zonas marinas muertas

Como resultado del aumento en la agricultura intensiva, de la actividad industrial y del crecimiento poblacional se ha incrementado el flujo de nitrógeno y fósforo hacia el ambiente (Díaz y Rosenberg, 2008). Estos nutrientes llegan a las costas disueltos en el agua de los ríos y producen cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros, disminuyendo su capacidad para mantener la biodiversidad original y los servicios ambientales. El enriquecimiento excesivo del agua con nutrientes (eutrofización) muestra dos síntomas principales: la disminución de oxígeno en el agua (hipoxia) y la reproducción explosiva de algas nocivas, las cuales pueden destruir la vida acuática en las zonas afectadas (Díaz y Rosenberg, 2008; Selman *et al.*, 2008). De las 415 áreas detectadas en el mundo con este problema, 169 son hipóxicas y solamente

Mapa a Zonas costeras hipóxicas



13 sistemas se consideran en recuperación. Muchas de las zonas hipóxicas registradas ya se han vuelto fenómenos persistentes o periódicos (Mapa a). Uno de los casos de hipoxia mejor conocidos es la zona muerta del Golfo de México. En este sitio se desarrolla una gran zona hipóxica estacional cada año a finales del verano, como consecuencia del aporte de nutrientes y contaminantes que arrastra principalmente el río Mississippi, la cual ha llegado a alcanzar una superficie de hasta 22 mil km².

3. Blanqueamiento de los arrecifes de coral

Los arrecifes de coral agrupan la mayor concentración de la biodiversidad marina: albergan más de 25% de todas las especies que habitan los mares en una zona equivalente al 1% de la superficie oceánica global. Los corales generalmente se establecen cerca de los continentes, donde las aguas son claras y someras. Son altamente productivos, y proporcionan hábitat y zonas de crianza para especies de importancia comercial (como

langostas, camarones y peces), y sirven de barreras protectoras de las costas al recibir parte de la fuerza de las tormentas.

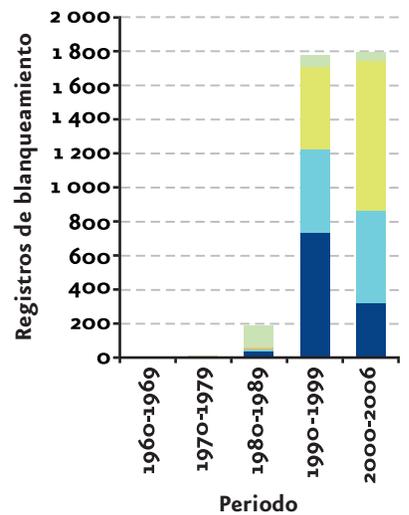
Más de la cuarta parte de los arrecifes coralinos del mundo se encuentran en riesgo alto y un tercio se consideran bajo riesgo moderado por la perturbación humana. La sobreexplotación de los recursos marinos y el desarrollo costero representan las principales amenazas. A escala mundial 36% de los arrecifes coralinos son clasificados como amenazados por sobreexplotación, 30% por el desarrollo costero, 22% por contaminación y erosión sobre los continentes y 12% por contaminación marina. Cuando estas amenazas se combinan, 58% de los arrecifes del mundo están en riesgo (Bryant *et al.*, 1998). Otras dos amenazas muy importantes derivadas del aumento de la concentración atmosférica de CO₂ y del cambio climático son la acidificación de los océanos y el aumento de la temperatura (los corales son muy sensibles a cambios en la temperatura y acidez del agua). Un aumento en el estrés ambiental con frecuencia causa que los corales expulsen sus zooxantelas simbióticas, lo que remueve su color y les da una apariencia blanca. Los corales “blanqueados” son más débiles y propensos a adquirir enfermedades. La combinación de aumento de temperatura y acidificación oceánica ha producido eventos de blanqueamiento masivos, aun con aumentos de temperatura de tan sólo 1°C (Figura a).

A nivel de especies, casi la tercera parte de las 704 especies de coral estudiadas son listadas como en peligro crítico, en

peligro o vulnerables. De estas especies, 32.8% se consideran con alto riesgo de extinción. El Mar Caribe tiene la mayor proporción de especies de coral en alto riesgo de extinción (Carpenter *et al.*, 2008). El deterioro de los arrecifes está ocurriendo con rapidez: un evento de blanqueamiento masivo en 1998 eliminó 16% de los arrecifes mundiales. Cuando el arrecife muere, también desaparecen una gran parte de las plantas y animales asociados (Mapa b).

Figura a

Blanqueamiento de arrecifes coralinos, 1960 - 2006

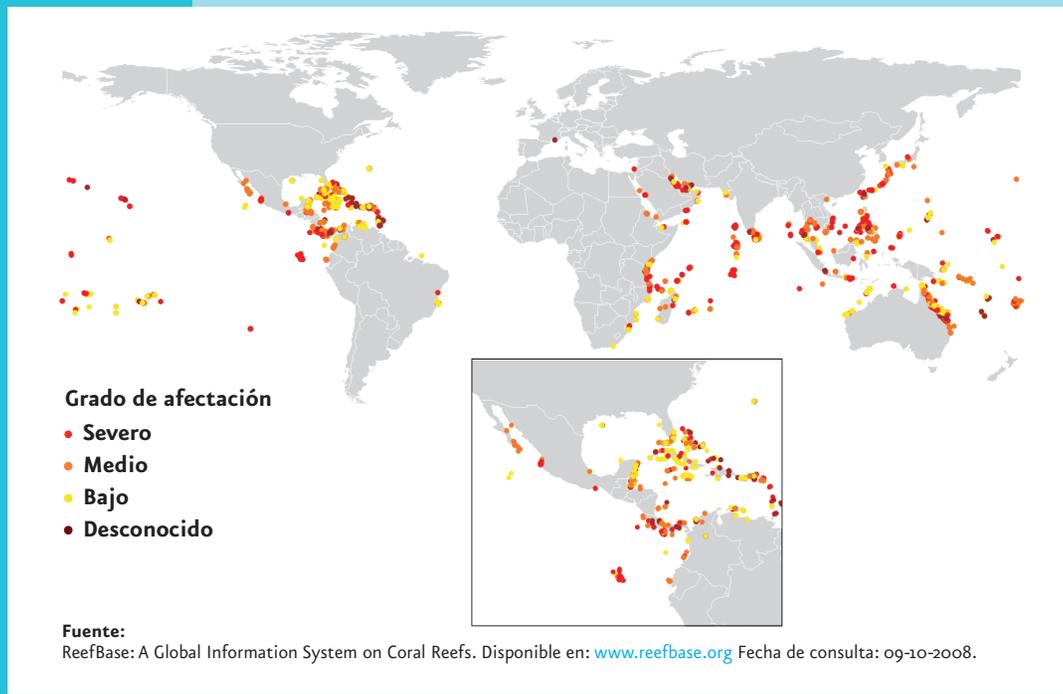


Grado de afectación desconocida Media
Baja Alta

Fuente: ReefBase. A Global Information System on Coral Reefs. Disponible en: www.reefbase.org Fecha de consulta: 09-10-2008.

Mapa b

Registro de blanqueamiento de arrecifes de coral, 1960 - 2006



Referencias:

Beck, M. W., K. L. Heck, K. W. Able, D. L. Childers, D. B. Eggleston, B. M. Gillanders, B. S. Halpern, C. G. Hays, K. Hoshino, T. J. Minello, R. J. Orth, P. F. Sheridan y M. P. Weinstein. The Role of Nearshore Ecosystems as Fish and Shellfish Nurseries. *Issues in Ecology* 11:1-12. 2003.

Bryant, D., L. Burke, J. Mc Manus y M. Spalding. Reefs at Risk. *A map based indicator of threats to the World's Coral Reefs*. World Resources Institute. USA. 1998.

Carpenter, K. E., M. Abrar, G. Aeby, R. B. Aronson, S. Banks, A. Bruckner, A. Chiriboga, J. Cortés, J. C. Delbeek, L. DeVantier, G. J. Edgar, A. J. Edwards, D. Fenner, H. M. Guzmán, B. W. Hoeksema, G. Hodgson, O. Johan, W. Y. Licuanan, S. R. Livingstone, E. R. Lovell, J. A. Moore, D. O. Obura, D. Ochavillo, B. A. Polidoro, W. F. Precht, M. C. Quibilan, C. Reboton, Z. T. Richards, A. D. Rogers, J. Sanciangco, A. Sheppard, C. Sheppard, J. Smith, S. Stuart, E. Turak, J. E. N.

Veron, C. Wallace, E. Weil y E. Wood. One-Third of Reef-Building Corals Face Elevated Extinction Risk from Climate Change and Local Impacts. *Science* 321: 560-63. 2008.

Díaz, R. J. y R. Rosenberg. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science* 321: 926-929. 2008.

Halpern, B.S., S. Walbridge, K. A. Selkoe, C. V. Kappel, F. Michelil, C. D'Agrosa, J. F. Bruno, K. S. Casey, C. Ebert, H. E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H. S. Lenihan, E. M. P. Madin, M. T. Perry, E. R. Selig, M. Spalding, R. Steneck, R. Watson. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319:948-952. 2008.

Hassan, R., R. Scholes y N. Ash. (Eds.) *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*. Volume 1. Island Press. Washington. 2005.

Howarth, R., D. Anderson, J. Cloern, C. Elfring, C. Hopkinson, B. Lapointe, T. Malone, N. Marcus,

Recuadro

Problemas globales de los ecosistemas marinos (conclusión)

K. McGlathery, A. Sharpley y D. Walker. Nutrient Pollution of Coastal Rivers, Bays, and Seas. *Ecological Society of America. Issues in Ecology* 7: 1-15. 2000.

Nellemann, C., S. Hain y J. Alder. (Eds.). In *Dead Water- Merging of climate change with pollution, over-harvest and infestations in the world's fishing grounds. Rapid Response Assessment*. UNEP. 2008.

Pauly, D. y D. Zeller. Marine fisheries. En: C. J. Cleveland (Ed.). *Encyclopedia of Earth*. Environmental Information Coalition. National Council for Science and the Environment. Washington, D.C. 2006. Disponible en: www.eoearth.org/article/Marine_fisheries Fecha de consulta: 02-12-2008.

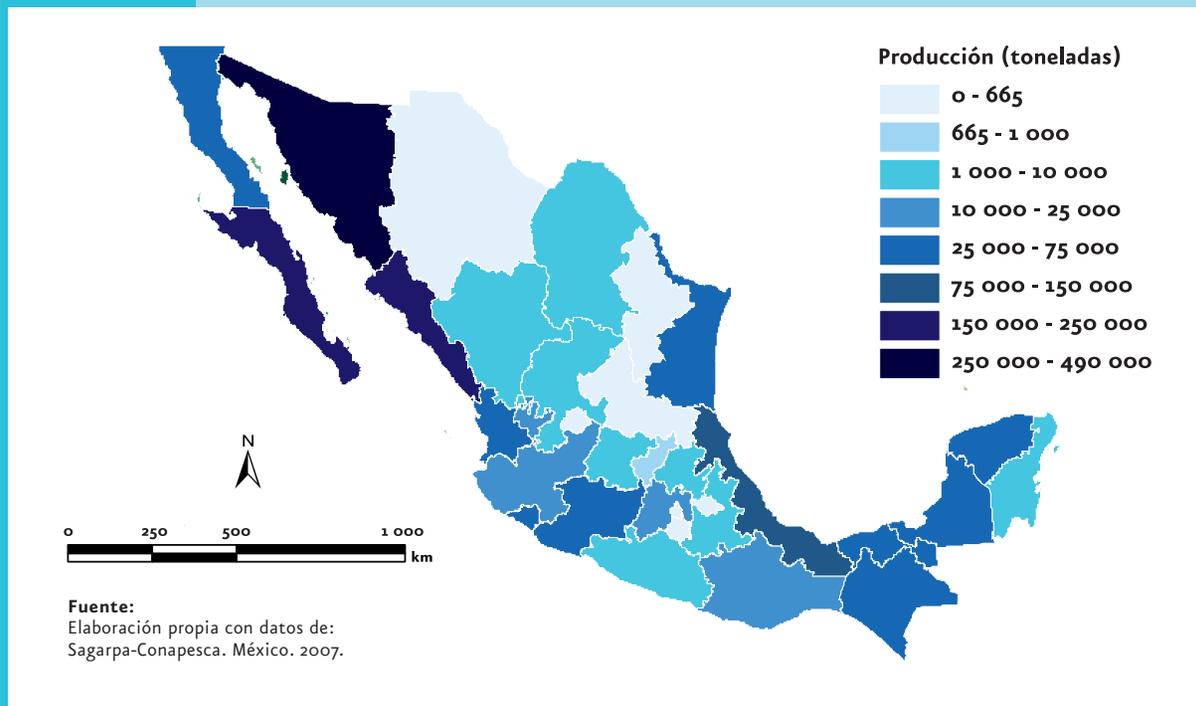
ReefBase: *A Global Information System on Coral Reefs*. Disponible en: www.reefbase.org Fecha de consulta: 9-10-2008.

Selman, M., S. Greenhalgh, R. Diaz y Z. Sugg. *Eutrophication and Hypoxia in Coastal Areas: A Global Assessment of the State of Knowledge. WRI Policy Note, Water Quality: Eutrophication and Hypoxia* 1: 1-6. 2008.

UNEP. *Vital Water Graphics*. Coastal and Marine Waters. 38. Human Actions Leading to Coastal Degradation. 2002. Disponible en: www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/38.htm Fecha de consulta: 04-12-2008.

Mapa 6.19

Producción pesquera por entidad federativa, 2006



por la pérdida o degradación de las áreas que ocupan estos ecosistemas o por la extracción e introducción de especies; e indirectamente por los efectos que pueden resultar de las alteraciones

en el flujo y la calidad del agua necesarios para mantener el óptimo funcionamiento de estos ecosistemas. Es importante mencionar que ambos tipos de efectos pueden presentarse dentro de

las áreas que ocupan los ecosistemas acuáticos o sus cuencas. De ahí que los escurrimientos superficiales agrícolas cargados de nutrimentos que se generan en las partes altas de las cuencas puedan alcanzar y contaminar, por medio de los afluentes de menor caudal, los grandes ríos o lagos cuenca abajo.

Las principales amenazas para la biodiversidad acuática continental son la reducción o degradación del hábitat, la introducción de especies invasoras, la sobreexplotación de los recursos pesqueros y el cambio climático (UNESCO-WWAP, 2007). Sin embargo, la modificación de los cauces por presas y embalses, la sobreexplotación del agua y su contaminación por descargas agrícolas, municipales e industriales son también fuentes importantes del deterioro de la calidad de estos ecosistemas (Tabla 6.8).

La presión que estos factores han ejercido sobre los ecosistemas acuáticos ha conducido inevitablemente a la pérdida de las especies que ahí habitan. A nivel mundial hay más especies reconocidas de agua dulce en peligro de extinción que en los ambientes terrestres o marinos. Según la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), existen en el mundo 3 mil 676 especies de agua dulce listadas como vulnerables, amenazadas o extintas (IUCN, 2007). De éstas, mil 92 son peces y mil 73 corresponden a anfibios (UNESCO-WWAP, 2007). La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 que lista las especies y subespecies de flora y fauna silvestres en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial registra 394 vertebrados acuáticos continentales incluidos en alguna de estas categorías, de las cuales 169 son peces, 197 anfibios y 28 corresponden a reptiles. La misma Norma reporta 16 especies extintas de peces de agua dulce en el país (DOF, 2002; **IB 6.2-4**).

En el caso de los ambientes costeros y marinos, la población y el desarrollo humano también han tenido un gran impacto sobre sus ecosistemas, debido fundamentalmente a que un alto porcentaje de la población mundial habita las zonas costeras, explota sus recursos naturales y desecha sus residuos en ellas. En el año 2000, alrededor de 40% de la población mundial habitaba la franja de tierra ubicada a los 100 kilómetros de la línea de costa (CIESIN, 2006). En México, el desarrollo de la franja costera también ha sido importante: la población de los municipios costeros creció, entre los años 2000 y 2005, a una tasa anual de 1.5%, pasando de 18.9 a 20.4 millones de habitantes (**IB 6.3-5**).



Las principales amenazas para la biodiversidad acuática continental son la reducción o degradación del hábitat, la introducción de especies invasoras, la sobreexplotación de los recursos pesqueros y el cambio climático.

El crecimiento poblacional tiene un impacto directo sobre los ecosistemas costeros y marinos, principalmente por la construcción de infraestructura (a través de muelles, diques y rompeolas, entre otros), la sobreexplotación de sus recursos naturales, la disposición inadecuada de los residuos sólidos y las descargas de aguas residuales municipales sin tratamiento.

La pesca es una de las actividades humanas que más impacto ejerce sobre la biodiversidad costera y oceánica. Afecta tanto por la reducción de las poblaciones de las especies objetivo y la captura incidental de otros organismos (la llamada “fauna de acompañamiento”), como por la falta de selectividad de los métodos tradicionales de pesca. La pesca también afecta directamente a las comunidades marinas modificando los hábitats y alterando la dinámica de la cadena trófica. Según la Carta Nacional Pesquera de 2004, 33 de los 42 principales sistemas lagunares costeros del país están afectados por las actividades pesqueras, 27 de ellos en la costa del Pacífico y los restantes seis en el Golfo y el Caribe. Desde la perspectiva de las



Tabla 6.8

Principales presiones sobre los ecosistemas acuáticos continentales y sus efectos sobre los servicios ambientales

Presión	Efecto principal	Servicio ambiental en riesgo
Crecimiento poblacional y del consumo.	Aumento de la extracción de agua y la demanda de terrenos para la agricultura.	Todas las funciones del ecosistema, incluyendo hábitat, suministro de agua y regulación.
Desarrollo de infraestructura (presas, canales, diques, transferencia entre cuencas, etc.).	La pérdida de integridad cambia los patrones de escurrimiento estacionales y el volumen de las corrientes fluviales, el transporte de nutrientes y de sedimentos. Interrupción de las migraciones de animales acuáticos.	Suministro de agua, hábitat para especies acuáticas, fertilidad de la llanura de inundación, estabilidad de las pesquerías.
Cambios en el uso del suelo.	Pérdida de hábitat y biodiversidad; cambio en patrones de escurrimiento; inhibición de la recarga natural; azolve de cuerpos de agua.	Control de inundaciones, hábitat para las especies de importancia pesquera y aves acuáticas, recreación, suministro de agua, cantidad y calidad del agua.
Sobreexplotación de recursos hídricos y poblaciones biológicas.	Reducción de poblaciones, funciones del ecosistema y biodiversidad. Agotamiento de aguas subterráneas, colapso de pesquerías.	Producción de alimento, suministro de agua, calidad y cantidad de agua.
Introducción de especies exóticas.	Competencia con las especies nativas; alteración de la productividad y de los ciclos de nutrientes; pérdida de biodiversidad.	Producción de alimento, hábitat de fauna y flora.
Descarga de contaminantes en suelos, aire o agua.	Alteración de la calidad del agua de ríos, lagos y humedales; las emisiones de gases de efecto invernadero pueden producir cambios en los patrones de precipitación, evaporación y escorrentía.	Suministro de agua, hábitat, calidad del agua, producción de alimentos, cambio climático, generación de energía, capacidad de dilución, transporte y control de inundaciones.

Fuente:

UNESCO-WWAP. *El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Sociedad Estatal Expoagua Zaragoza 2008. Zaragoza. 2008.

pesquerías marinas, la misma carta establece que en el Golfo de México y en el Pacífico, 19 y 27% de las pesquerías respectivamente, se encuentran en condiciones de deterioro, 67 y 51% en condiciones de aprovechamiento máximo sostenible, y alrededor de 15% tienen potencial de desarrollo (DOF, 2004).

Uno de los problemas más graves de la pesca es la falta de selectividad de las artes tradicionales, que produce la captura de ejemplares de muchas especies de peces e invertebrados sin valor comercial. En el caso de la pesca del camarón en México, por ejemplo, la fauna de acompañamiento la integran alrededor de 125 especies de peces, 2 de moluscos, 2 de equinodermos y 4 especies de crustáceos; 4 especies de todas las anteriores están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 en alguna categoría de riesgo. Otras pesquerías pueden capturar especies de vertebrados amenazadas, entre las que se encuentran cetáceos, tiburones y tortugas marinas ([Cuadro D2_PESCA04_02](#)). Resulta difícil estimar con precisión el daño que la pesca incidental ha ocasionado en las aguas nacionales. Tan sólo en el año 2000, el descarte de fauna de acompañamiento, en buques de camarón, alcanzó cerca de 176 mil toneladas en el Pacífico, mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe fue de 15 mil toneladas ([Cuadro D2_PESCA04_01](#)).

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 de peces en el 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 microhábitats creados por esponjas y corales, se pierden además sitios de reclutamiento y alimentación para otras especies, lo que afecta sus poblaciones y el flujo y 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 México, se calculó que en el año 2000, tan sólo en el Pacífico, la superficie arrastrada fue de casi 550 mil kilómetros cuadrados (es decir cerca de dos veces el estado de Chihuahua), mientras que en el Golfo de México y Mar Caribe pudo sumar los 187 mil kilómetros cuadrados (es decir, la superficie estatal de Sonora; [Cuadro D2_PESCA04_01](#)).

La introducción de especies no nativas también ha modificado la composición original de los ecosistemas acuáticos continentales. Estas especies se han introducido ya sea de manera intencional para la acuicultura, la pesca deportiva o el control biológico, o accidentalmente como resultado de la fuga de especies de ornato. Estas especies afectan a la fauna y flora nativas por la degradación del hábitat, depredación, competencia e introducción de enfermedades. El número de especies invasoras establecidas en los ecosistemas acuáticos continentales del país asciende actualmente a 76: dos especies de anfibios, 55 de peces, diez de plantas, cuatro crustáceos, un mamífero semiacuático, dos tortugas, un molusco y una medusa; su distribución abarca prácticamente todo el territorio nacional (Conabio, 2008; **IB 6.2.-2**). En el caso de las especies invasoras marinas, se han reportado 42 especies establecidas: una especie de anfibio, tres especies de peces, nueve de crustáceos, seis de moluscos, 18 de algas y cinco de otros invertebrados (Conabio, 2008; **IB 6.3.-8**).

Instrumentos para la conservación de la biodiversidad acuática

En México, como en otros países, existen diversos esquemas encaminados hacia la protección de la biodiversidad acuática continental y marina. Algunos de ellos se enfocan directamente hacia la protección de la integridad de los ecosistemas (como las ANP o los humedales de la convención



Ramsar), mientras que otros actúan, a través de la regulación del aprovechamiento de una especie o un conjunto de ellas (por ejemplo, las normas o vedas pesqueras), que pueden tener efectos en la estructura de estos ecosistemas y, por tanto, en su biodiversidad.

La creación de áreas naturales protegidas (ANP) ha sido la estrategia de conservación más utilizada en México y el mundo (ver también el capítulo de *Biodiversidad*). La función principal de las ANP es la protección y conservación de los recursos naturales de importancia especial, ya sean especies de fauna o flora o bien de ecosistemas representativos local, regional o internacionalmente. Con respecto a los ecosistemas acuáticos continentales, en total 81 ríos y 3 mil 295 kilómetros de sus cauces están incluidos total o parcialmente dentro de las ANP federales del país. Los ríos Santa María, Grande de Santiago, Bravo, Sabinas y San Fernando son los que tienen una mayor longitud de sus cauces dentro de las ANP. Dentro del sistema de Áreas Naturales Protegidas en 2008 existía una superficie total de 4.5 millones de hectáreas de superficie marina (IB 6.3-10).

Es importante anotar que un número importante de las ANP con ecosistemas acuáticos continentales y marinos se encuentran dentro de las Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP, de las cuales se reconocen 110 en el país) y las Regiones Prioritarias Marinas (RPM, 70 en total) delimitadas por la Conabio, las cuales se distinguen por su alta diversidad biológica e integridad ecológica (Mapas 6.20 y 6.21).

Paralelamente al esquema de las ANP, existen otras estrategias de conservación como la Convención Ramsar (que se explica con mayor detalle en el Recuadro *Humedales y sitios Ramsar*

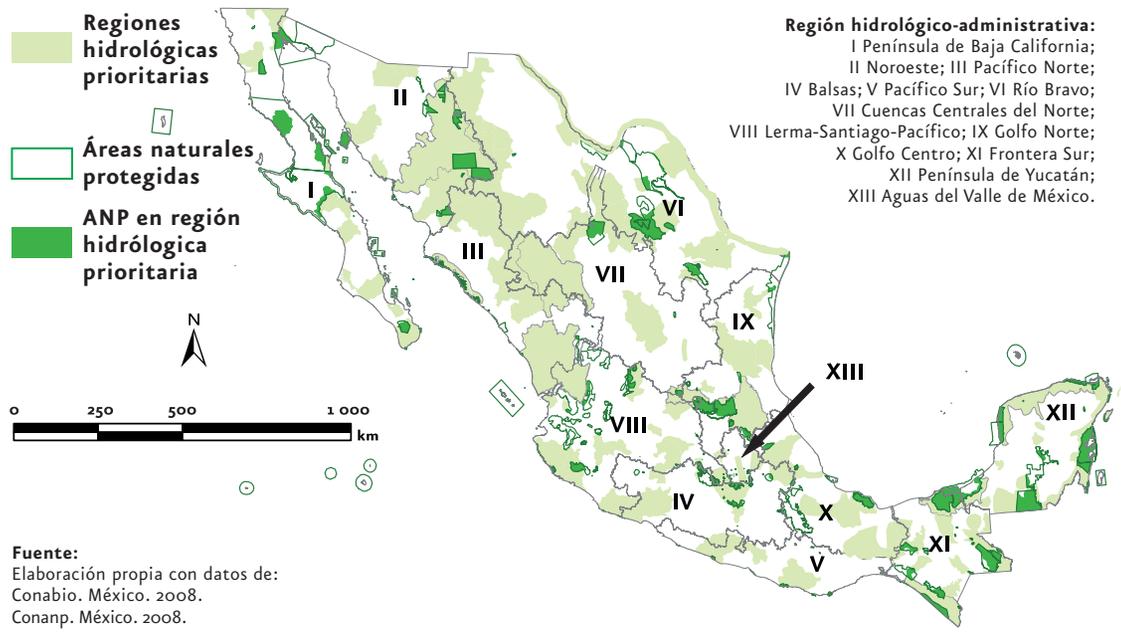
y los indicadores **IB 6.2-5** y **IC 2**) y el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), implementado en 2003, mediante el cual se retribuye con dinero gubernamental a los propietarios de terrenos que cuenten con bosques y selvas en buen estado por los beneficios públicos que implica su conservación (para mayores detalles consultar el capítulo de *Ecosistemas terrestres*; **IB 2.2-14**; **IC 2**). Aunque este programa se enfoca específicamente en los terrenos forestales por su importancia desde el punto de vista del ciclo hidrológico, ofrece también a sus propietarios una alternativa al desmonte para la agricultura y la ganadería, principales causas de la pérdida de la cobertura vegetal natural en el país.

Al lado de los esquemas de conservación de los ecosistemas, existen otros instrumentos que se han empleado para la protección de los recursos acuáticos, especialmente en el caso de la pesca. Indirectamente, a través de ellos pueden protegerse ciertas especies y con ello, la biodiversidad de las comunidades ecológicas. Con respecto a la problemática de la pesca incidental, se han implementado distintas estrategias para reducir su volumen e impactos. Uno de los esfuerzos más importantes para la reducción de la captura de las tortugas marinas ha sido la implementación de los llamados Dispositivos Excluidores de Tortugas (DET), iniciada en 1993 en los barcos de la flota camaronera del Golfo de México y en 1996 en la flota del Caribe y el Pacífico (**IB 6.4.2-5**; ver también el Recuadro de *Las tortugas marinas mexicanas* en el capítulo de *Biodiversidad*).

La pesca del atún también requiere de una supervisión meticulosa por parte de técnicos observadores que garanticen el cumplimiento normativo nacional e internacional y permitan



Mapa 6.20 Áreas naturales protegidas en regiones hidrológicas prioritarias, 2008



Mapa 6.21 Áreas naturales protegidas en regiones marinas prioritarias, 2008



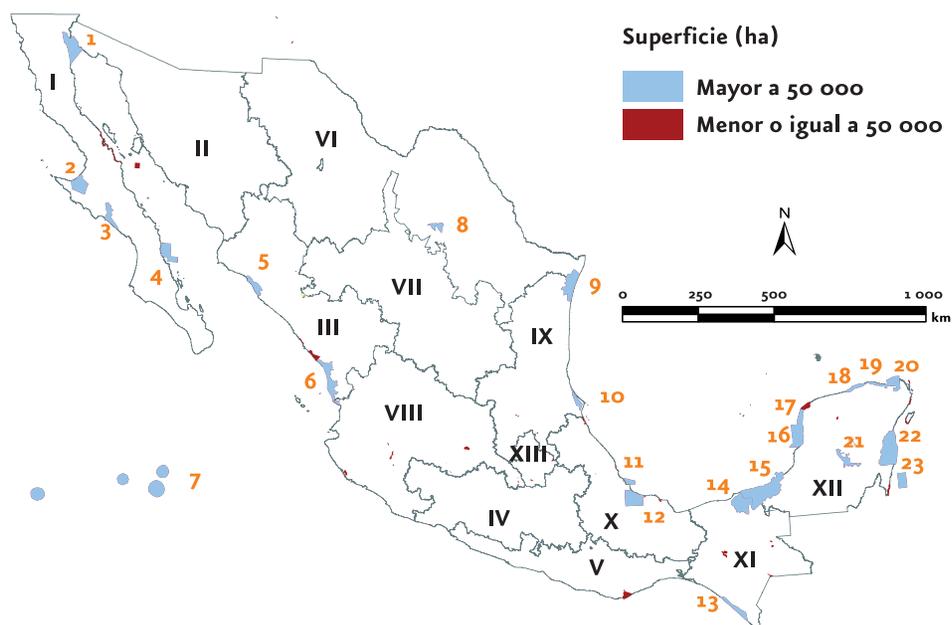
De acuerdo con la definición establecida en la Convención Ramsar, se consideran humedales: “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en

marea baja no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

En México, el tipo de humedal predominante es el marino, del cual sobresalen los estuarios y las lagunas costeras, seguidos por los humedales continentales y en menor proporción se encuentran los humedales de tipo artificial

Mapa a

Distribución geográfica de los principales humedales



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.

Humedales:

1 Humedales del Delta del Río Colorado, 2 Laguna Ojo de Liebre, 3 Laguna San Ignacio, 4 Parque Nacional Bahía de Loreto, 5 Laguna Playa Colorada Santa María La Reforma, 6 Marismas Nacionales, 7 Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, 8 Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, 9 Laguna Madre, 10 Laguna Tamiahua, 11 Sistema Arrecifal Veracruzano, 12 Sistema Lagunar Alvarado, 13 Reserva de la Biosfera La Encrucijada, 14 Pantanos de Centla, 15 Laguna de Términos, 16 Los Petenes, 17 Ría Celestún, 18 Dzilam, 19 Ría Lagartos, 20 Yum Balam, 21 Bala’an Ka’ax, 22 Sian Ka’an, 23 Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro.

Fuente:

Elaboración propia con datos de: Conanp. México. 2007.

representados por reservorios, diques, presas y estanques artificiales (Mapa a). Dada la importancia de los humedales como sitios en donde se llevan a cabo importantes procesos hidrológicos y se mantiene una elevada riqueza biológica, en 1971 se creó la Convención Ramsar, cuyos objetivos principales son la conservación y el uso racional de los humedales. En 2008, la lista de países integrados a esta convención sumaba 158, con alrededor de mil 771 sitios registrados cubriendo poco menos de 162 millones de hectáreas. En el caso de México, el primer sitio incluido en la lista Ramsar fue “Ría Lagartos”, en el estado de Yucatán, en 1986. Actualmente México cuenta con 112 sitios Ramsar, abarcando una superficie de alrededor de 8.1 millones de hectáreas (Conanp, 2008, CUADRO D3_

BIODIV01_06). Estos sitios constituyen el hábitat de numerosas especies endémicas, sujetas a protección especial, amenazadas o en peligro de extinción, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (DOF, 2002).

Referencias:

DOF. NOM-059-SEMARNAT-2001. Diario Oficial de la Federación. México. 2002 (06 de marzo).

Secretaría de la Convención de Ramsar. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). 4a. edición. Gland (Suiza). 2006. Disponible en: www.ramsar.org/ Fecha de consulta: 01-12-2008.

Secretaría de la Convención de Ramsar. The List of Wetlands of International Importance. 2008. Disponible en: www.ramsar.org/index_list.htm Fecha de consulta: 01-12-2008.

Conanp. Logros 2008. México. 2008.

reducir la captura incidental de los delfines asociados. Los esfuerzos realizados para la protección de delfines 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. Ambos se basan en el monitoreo de la mortalidad incidental por medio de observadores científicos 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.

Algunos de los principales problemas asociados a la pesca en el país son los conflictos por el acceso a los recursos, la inadecuada definición de los derechos de propiedad, la sobreexplotación, la ineficiencia en las técnicas de captura que ocasionan la pesca incidental, la concentración del esfuerzo pesquero en unas pocas especies, la contaminación y la destrucción del hábitat de las especies objetivo (Villaseñor-Talavera, 2002). En este contexto, las regulaciones pesqueras establecidas en nuestro país, como la Ley de Pesca y su reglamento específico, las normas, avisos y vedas, se han tratado de desarrollar siguiendo los criterios de una pesca responsable, procurando aprovechar adecuadamente estos recursos.

Dos de los instrumentos legales que se han

promovido para lograr un desarrollo sustentable de las pesquerías en el país son los permisos y las normas oficiales mexicanas. El permiso es el más ampliamente utilizado, ya que, de acuerdo con la Ley de Pesca, es necesario para cualquier aprovechamiento con fines comerciales. La expedición de un permiso depende de la disponibilidad del recurso y de que la explotación no deteriore la unidad pesquera de manejo. En 2004, 30 pesquerías contaban con instrumentos de este tipo (Semarnat, 2005). Otra forma habitual de protección de los recursos pesqueros es permitir el aprovechamiento de organismos que ya se hayan reproducido (en general a través del establecimiento de tallas mínimas), así como las vedas y la prohibición de artes de pesca perniciosas.

El desarrollo y puesta en práctica de un marco legal que regule el aprovechamiento del recurso pesquero del país es un elemento importante de la administración de la pesca, sin embargo, por sí sólo no garantiza su uso y manejo racional, ni su protección y conservación. Por ello, un sistema integral de gestión debe contemplar, además, los puntos de interés de los diferentes sectores sociales y las interacciones de los mismos, un adecuado sistema de inspección y vigilancia que respalde el esquema jurídico, así como la consideración de los aspectos biológicos y ecosistémicos que aseguren la sustentabilidad de las diferentes pesquerías (ver también el Recuadro *Ordenamientos ecológicos marinos* en capítulo de *Ecosistemas terrestres*).

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.
- Aguilar, V. Aguas continentales y diversidad biológica de México: Un recuento actual. *Biodiversitas* 43:1-13. 2003.
- Aguilar, V., M. Kolb, D. Hernández, T. Urquiza y P. Koleff. Prioridades de conservación de la Biodiversidad Marina de México. *Biodiversitas* 79:2-15. 2008.
- Arriaga, L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez, E. Muñoz y V. Aguilar. *Regiones Prioritarias Marinas de México*. Conabio. México. 1998.
- Arriaga, L., V. Aguilar y J. Alcocer-Durand. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Conabio. México. 2000.
- Carabias, J. y R. Landa. *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México y Fundación Gonzalo Río Arronte. México. 2005.
- 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.
- Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. Arrecifes de coral de México. En: *Biodiversidad Marina y Costera*. CONABIO-CIQRO. México. 1993.
- Cenapred. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2000*. Serie "Impacto socioeconómico de los desastres naturales". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2001.
- Cenapred. *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. *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.

- Cenapred. *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.
- CIESIN. *CSD Coastal Population Indicator: Data and Methodology Page*. USA. 2006. Disponible en: sedac.ciesin.columbia.edu/es/csdcoastal.html Fecha de consulta 12-12-2008.
- Conabio. *Capital Natural y Bienestar Social*. Conabio. 2006.
- Conabio. *Sistema de información sobre especies invasoras en México*. México. 2008. Disponible en: www.conabio.gob.mx/invasoras/index.php/Portada Fecha de consulta 01-12-2008.
- Conagua. *Estadísticas del Agua en México, 2007*. Conagua. México. 2007.
- Conagua. *Estadísticas del Agua en México, 2008*. Conagua. México. 2008.
- Conapo. *Proyecciones de la Población de México 2005-2050*. México. 2006.
- 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*. CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. México. 1989 (2 de diciembre).
- DOF. NOM-059-SEMARNAT-2001. Diario Oficial de la Federación. México. 2002 (06 de marzo).
- DOF. *Carta Nacional Pesquera*. Diario Oficial de la Federación. México. 2004 (15 de marzo).
- Falkenmark, M. y J. Rockström. *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Ecohydrology*. Reino Unido. 2004.
- FAO. AQUASTAT. *Sistema de Información sobre el uso del agua en la agricultura y el medio rural de la FAO*. Roma. 2007. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm Fecha de consulta 01-12-2008.
- FAO. *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2006*. Roma. 2007. Disponible en: www.fao.org/docrep/009/A0699s/A0699s00.htm Fecha de consulta 01-12-2008.
- FAO. *El Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2008*. Roma. 2009. Disponible en: www.fao.org/docrep/011/10250s/10250s00.htm Fecha de consulta 03-03-2009.
- Finlayson, C. M. y R. D'Cruz. *Inland Water Systems*. En: Hassan, R., R. Scholes y N. Ash (Eds.). *Ecosystems and human well-being, Volume 1: current status and trends: findings of the Condition and Trends Working Group*. Island Press. USA. 2005.
- 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.
- IUCN. *2007 IUCN Red List of Threatened Species*. 2007. Disponible en: www.iucnredlist.org Fecha de consulta 01-12-2008.
- MEA. *Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet. Summary for Decision Makers*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington D.C. 2005.
- Miller, R. R. *Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico*. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 30:121-153. 1986.
- OCDE. *Análisis del desempeño ambiental: México*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Francia. 1998.

OECD. *OECD in Figures: Statistics on the Member Countries*. Supplement I. Organisation for Economic Cooperation and Development. France. 2002.

OECD. *Water. Performance and Challenges in OECD Countries*. Environmental Performance Reviews. 2003.

ONU. *Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Informe 2008. U.S.A. 2008.

PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-3*. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.

PNUMA. *GEO América Latina y el Caribe*. Perspectivas del Medio Ambiente 2003. PNUMA. Costa Rica. 2003.

PNUMA. *Anuario Geo 2003*. División de Evaluación y Alerta Temprana. Kenia. 2004. Disponible en: www.unep.org/geo/yearbook Fecha de consulta 01-12-2008.

Revenge, C., J. Brunner, N. Henninger, K. Kassem y R. Payne. *Pilot Analysis of Global Ecosystems. Freshwater Systems*. World Resources Institute. Washington, D.C. 2000.

Reyna B., A. y J. C. Hernández E. *Poblamiento, desarrollo rural y medio ambiente. Retos y prioridades de la política de población*. Conapo. 2006. Disponible en: www.conapo.gob.mx/publicaciones/sdm2006/sdm06_12.pdf Fecha de consulta 01-12-2008.

Sagarpa. Conapesca. México. 2007.

Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2005*. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 2005.

Shiklomanov, I. A. *World Water Resources: Modern Assessment and Outlook for the 21st Century. Summary of World Water Resources at the Beginning of the 21st*

Century. IHP-UNESCO. 1999.

Silk, N. y K. Ciruna (Eds.). *A Practitioner's Guide to Freshwater Biodiversity Conservation*. The Nature Conservancy. Boulder, Colorado. 2004.

Spalding, M. D., C. Ravilious y E. P. Green. *World Atlas of Coral Reefs*. WCMC-UNEP. University of California Press. Berkeley. USA. 2001.

UN. *Coping with water scarcity. Challenge of the twenty-first century*. USA. 2007.

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

UNDP, UNEP, World Bank y WRI. *World Resources 2000-2001*. WRI. U.S.A. 2000.

UNEP. *Vital Water Graphics*. 2002. Disponible en: www.unep.org/dewa/assessments/ecosystems/water/vitalwater/15.htm#16. Fecha de consulta: 17-09-2008.

UNEP. *Global Environment Outlook, GEO4 environment for development*. Malta. 2007.

UNESCO-WWAP. *El agua, una responsabilidad compartida*. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Sociedad Estatal Expoagua Zaragoza 2008. Zaragoza. 2007.

Villaseñor-Talavera, R. Mecanismos para la regulación y control de la pesca. En: Morán-Angulo, R. E., S. Santos-Guzmán, M. T. Bravo-Mercado y J. R. Ramírez-Zavala (Eds.). *Manejo de recursos pesqueros*. Reunión Temática Nacional. Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 2002.

Vörösmarty, C. J., C. Lévêque, C. Revenge, 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. Scholes y N. Ash. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. Millennium Ecosystem Assessment Series. Island Press. Washington,

Covelo, London. 2005.

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

WHO y UNICEF. *Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target: A Mid-term Assessment of Progress*. WHO. Geneva, New York. 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: 01-12-2008.

WHO y UNICEF. *Joint Monitoring Programme (JMP) for water supply and sanitation*. 2008. Disponible en: www.wssinfo.org/en/welcome.html Fecha de consulta: 01-12-2008.

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

