



## 4. AGUA

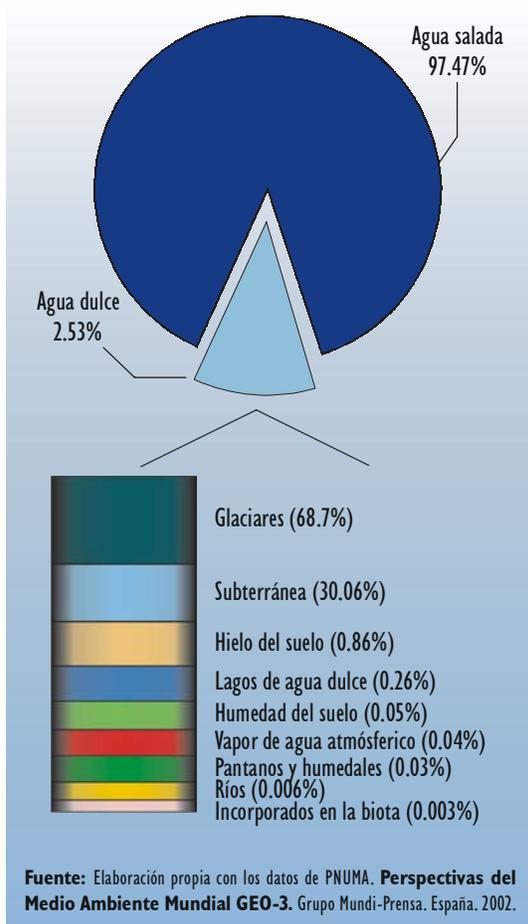
La preocupación de los países por contar con agua suficiente en cantidad y calidad para sus diferentes actividades es cada vez mayor. A pesar de que en el planeta existe una cantidad considerable de agua estimada en 1 400 millones de km<sup>3</sup>, sólo el 2.5% es agua dulce y la mayor parte de la misma se encuentra en forma de hielo o en depósitos subterráneos de difícil acceso (Figura 4.1). De esta manera, el agua disponible en teoría para las actividades humanas sería, en el mejor de los casos, del 0.01%. Además, esta mínima porción de agua frecuentemente se localiza en lugares inaccesibles o está contaminada, lo que dificulta su aprovechamiento (PNUMA, 2002).

Bajo estas circunstancias, el agua es considerada como un factor crítico para el desarrollo de las naciones y, de hecho, quizá sea el recurso que define los límites del desarrollo sustentable (FNUAP, 2001), ya que no sólo es indispensable para el desarrollo económico y social de la humanidad sino también para el funcionamiento de los ecosistemas del planeta. De ahí la importancia de contar con información confiable acerca de la cantidad y calidad de este recurso, en

términos de su disponibilidad, usos y grado de deterioro, así como con una evaluación de los efectos que han tenido las diferentes acciones encaminadas a mejorar la cantidad y calidad del agua disponible para la gente.

El análisis de la situación del agua en México puede abordarse a diferentes escalas. Una evaluación global del país puede ser útil para la comparación con otros países o para medir el desempeño y compromisos adquiridos por México (por ejemplo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), de la cual México es miembro desde 1994). Sin embargo, un análisis a esta escala resulta de utilidad limitada para identificar los problemas locales y, por consiguiente, diseñar los programas pertinentes al interior del país. La alta heterogeneidad tanto ambiental como social que presenta el país, requiere un análisis a nivel regional o estatal que permita una evaluación más acorde con posibles estrategias de uso y manejo del agua. En este contexto, a continuación se examina la situación del agua en México considerando los niveles de país, región y estado, en función de la información disponible y su relevancia.

**Figura 4.1. Principales reservas hídricas en el mundo.**



Las características topográficas y geográficas que tiene México producen una condición hidrológica muy particular; su tamaño relativamente grande (casi 2 millones de kilómetros cuadrados), la influencia que tienen los 11 208 km de costa ubicados tanto en el Pacífico como el Atlántico, su ubicación geográfica, en particular su relación con los grandes cinturones de viento y la trayectoria de los huracanes, su complicada topografía —en gran parte resultado de la actividad tectónica ocurrida durante el Cenozoico— y su relieve sumamente accidentado con grandes variaciones altitudinales, ocasionan intensos contrastes en la disponibilidad de agua en el país. Así, tenemos que más de la mitad del territorio (56%) está ocupado por zonas áridas y semiáridas, donde las lluvias son escasas, aunque también existen amplias zonas húmedas y subhúmedas en el sureste (Mapa 4.1).

La mayor parte del territorio mexicano (66%) presenta régimen de lluvias de verano, donde la precipitación se concentra marcadamente en los meses de junio a septiembre, mientras que en la temporada de invierno las lluvias son escasas (menores al 10% del total). El régimen de lluvia intermedio cubre el 31% del país y corresponde a la frontera norte y a las zonas de mayor precipitación en el trópico mexicano. Finalmente, una pequeña porción ubicada en la parte norte de la vertiente del Pacífico de la Península de Baja California tiene régimen de lluvias de invierno, que se concentran en los meses fríos del año.

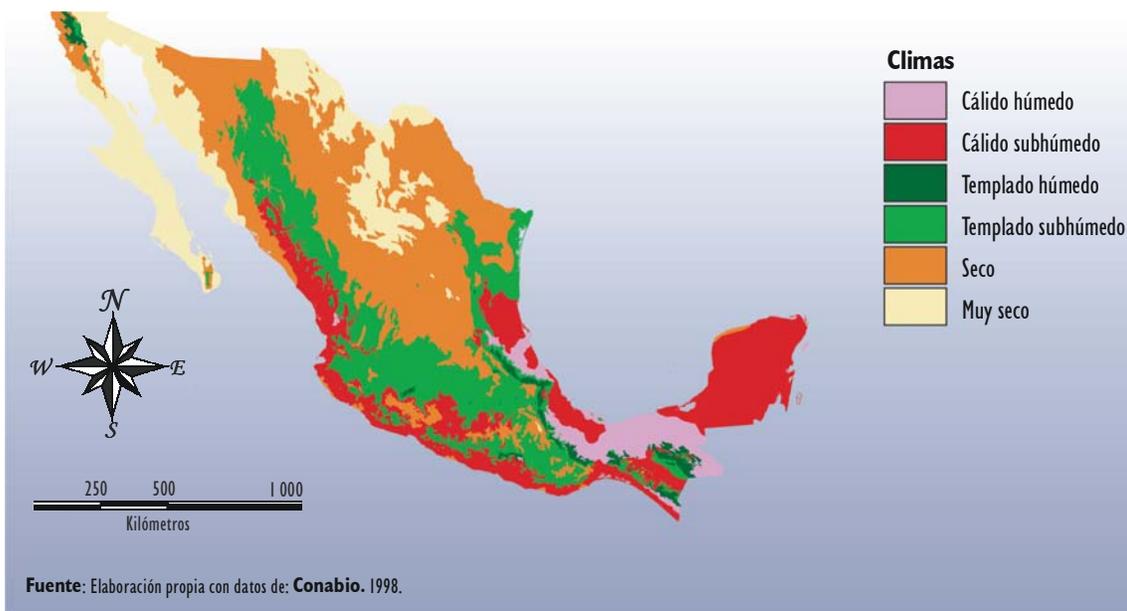
### Variación espacial y temporal

La precipitación promedio anual en México durante el periodo 1941-2000 fue de 772 mm, lo que se considera abundante (OCDE, 1998). Sin embargo, esta cifra promedio resulta poco representativa de la situación hídrica del país, ya que existe una alta heterogeneidad espacial y temporal. Así, tenemos estados como Baja California Sur, donde apenas se registran 199 mm de lluvia en promedio, mientras que en Tabasco la precipitación es más de trece veces superior (Cuadro III.2.1.3). Los estados localizados en la zona norte ocupan cerca del 50% de la superficie del país y contribuyen sólo con un poco más del 25% del agua que ingresa al país por lluvia, mientras que los estados localizados en la parte sur (Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Veracruz, Yucatán y Tabasco), con sólo el 20.6% de la superficie nacional, reciben el 40.5% de la lluvia (Tabla 4.1).

A nivel de regiones hidrológicas administrativas — una división del país que establece la Comisión Nacional del Agua (CNA) con criterios hidrológicos (Mapa 4.2) — también son muy claras las diferencias. Las regiones I, II, III y VI, localizadas en la parte norte del país y que comprenden el 45% del territorio nacional, reciben el 26.5% de la precipitación, en contraste con las regiones administrativas IV, V, X, XI y XII, situadas en la parte sur del país y que ocupan el 27.5% del territorio, las cuales reciben en promedio el 49.6% de la lluvia (Tabla 4.2).

Así como el valor de 772 mm de precipitación promedio no refleja la heterogeneidad al interior del país, tampoco muestra las altas variaciones que ocurren entre los años. Por

**Mapa 4.I. Climas en México.**



**Tabla 4.I. Superficie y contribución proporcionales de la precipitación de los estados del norte y sur de la República Mexicana, 1941-2000.**

Estado	Superficie (%)	Precipitación (%)	Estado	Superficie (%)	Precipitación (%)
Baja California	3.65	0.97	Campeche	2.91	4.24
Baja California Sur	3.77	0.87	Chiapas	3.76	9.55
Coahuila	7.69	3.13	Oaxaca	4.75	9.35
Chihuahua	12.55	6.88	Quintana Roo	2.00	3.24
Nuevo León	3.30	2.52	Tabasco	1.26	3.94
Sinaloa	2.98	3.06	Veracruz	3.68	7.03
Sonora	9.22	5.11	Yucatán	2.22	3.19
Tamaulipas	4.07	4.04			
<b>Total</b>	<b>47.23</b>	<b>26.58</b>		<b>20.58</b>	<b>40.53</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de: Sistema Meteorológico Nacional, **CNA**. México. 2002.

ejemplo, de 1990 a 1993 la precipitación fue casi un 14% superior al promedio, mientras que en 1994, 1996 y 1997 estuvo muy por debajo de los 772 mm (7.9, 13.3 y 9.2%, respectivamente). De hecho, considerando a todo el país desde 1994, la precipitación promedio ha estado por debajo de la media histórica (Figura 4.2).

No obstante esta tendencia general, existen diferencias importantes entre los estados que componen la República

Mexicana con respecto al agua que han recibido por lluvia en los últimos años. Si se compara el volumen de agua recibido en algunos estados durante los últimos 11 años (1990-2001) con respecto a su promedio histórico, Campeche, Coahuila, Distrito Federal, Guanajuato y Puebla recibieron entre 15 y 20% más de lluvia, mientras que Durango, Guerrero, Estado de México y San Luis Potosí sufrieron una disminución de entre 15 y 25%. Durante el periodo de 1994 a 2001, años en

**Mapa 4.2. Regiones Hidrológicas Administrativas.**



Fuente: Elaboración propia con datos de CNA. **Compendio Básico del Agua en México.** México, 2002.

**Tabla 4.2. Superficie y precipitación media anual recibida por región hidrológica administrativa en el norte y sur del país, 1941-2000.**

Región administrativa	Superficie (miles de km <sup>2</sup> )	Precipitación	
		(mm)	(km <sup>3</sup> )
I Península de Baja California	148.9	199	30
II Noroeste	216.1	476	103
III Pacífico Norte	150.1	684	103
VI Río Bravo	377.0	449	169
IV Balsas	118.6	806	96
V Pacífico sur	79.6	1 125	90
X Golfo Centro	105.3	1 549	163
XI Frontera sur	101.7	2 258	230
XII Península de Yucatán	139.5	1 290	180

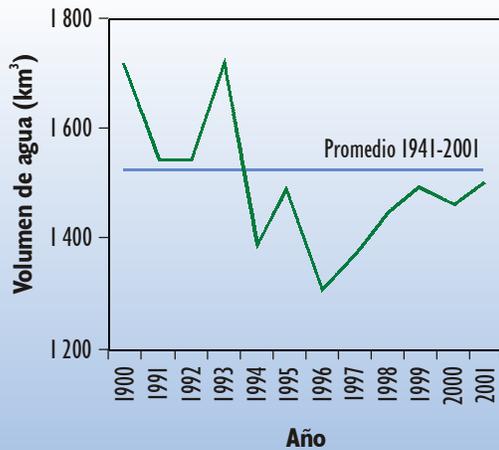
Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. **Compendio Básico del Agua en México.** México, 2002.

los que se agudizó la disminución de la lluvia, Durango y el Estado de México sufrieron reducciones superiores al 30% (Tabla 4.3). En el último siglo se presentaron cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1952, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, que afectaron principalmente a los estados del norte del territorio nacional. En orden de severidad por sus efectos desfavorables están: Chihuahua, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, San Luis Potosí,

Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala (Cenapred, 2001).

En México se presentan alrededor de 25 ciclones al año, con vientos mayores de 63 km/h, repartidos en las costas del Pacífico (60%) y el Atlántico (40%), de los cuales cuatro, en promedio, tienen efectos importantes sobre el territorio (Cuadro 1.8.1). La ocurrencia de ciclones tropicales se concentra entre los meses de mayo a noviembre y generan

**Figura 4.2. Volumen de la precipitación a nivel nacional, 1990-2001.**



Fuente: Elaboración propia con los datos de: Servicio Meteorológico Nacional, CNA. México. 20 02.

**Tabla 4.3. Estados con la mayor reducción en la precipitación recibida en el periodo 1994-2001 con respecto a su promedio anual histórico 1941-2000.**

Estado	Precipitación promedio periodo 1994-2001 (mm/año)	Precipitación promedio histórica 1941-2000 (mm/año)	Variación (%)
Durango	336.6	509	- 34
Guerrero	879.4	1110	- 21
Jalisco	609.3	824	- 26
Estado de México	607.1	893	- 32
Michoacán	639.6	803	- 20
San Luis Potosí	767.8	960	- 20
Sinaloa	631.0	793	- 20

Fuente: Elaboración propia con datos de: Sistema Meteorológico Nacional, CNA. México. 2002.

Lluvias intensas en cortos periodos que incrementan sustancialmente la cantidad de lluvia que reciben las entidades. Por ejemplo, en noviembre de 1993, en San José del Cabo, Baja California Sur, ocurrió una precipitación de 632 mm en un solo día, valor que es 3.5 veces mayor que la precipitación total anual promedio del estado. Cabe señalar

que el agua que ingresa por estos meteoros, además de que frecuentemente ocasiona problemas de inundaciones y daños a las poblaciones asentadas cerca de las costas, no es aprovechable en muchos casos, ya que escurre muy rápidamente vertiéndose al mar.

### Balance de agua

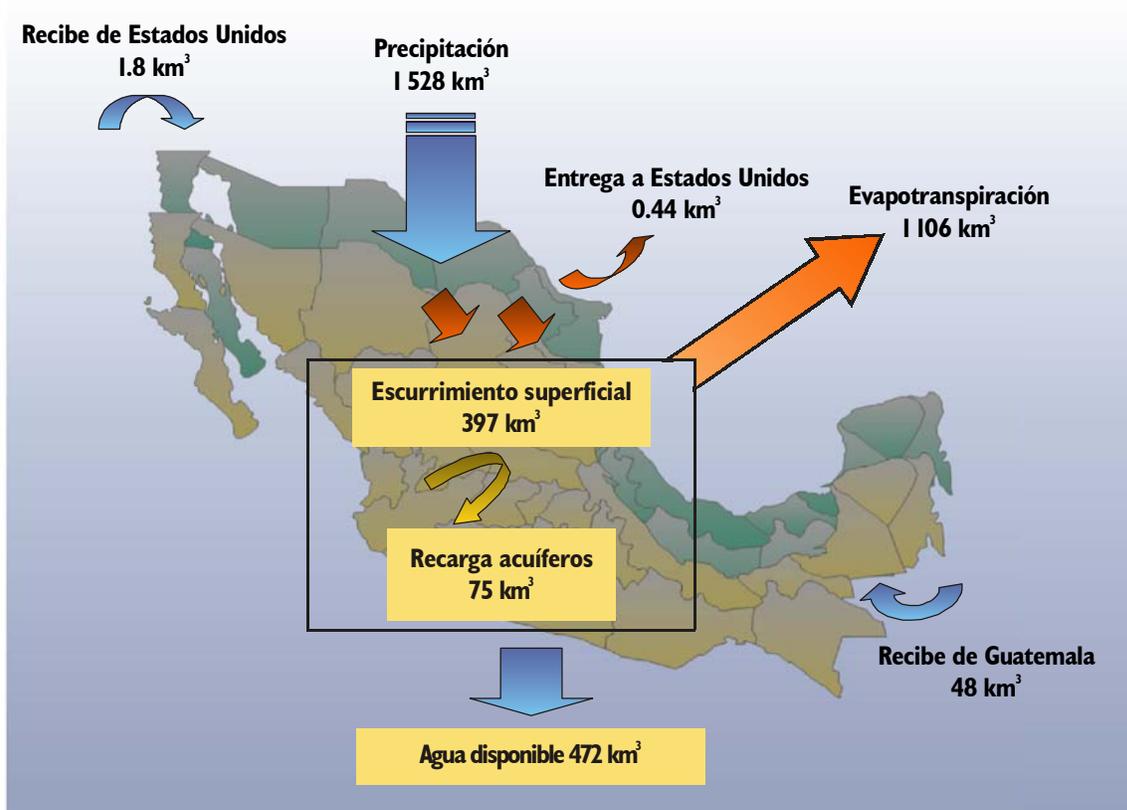
El volumen total de agua que recibe el país por precipitación es de 1 528 km³ en promedio, pero la mayor parte, cerca del 73%, regresa a la atmósfera por evapotranspiración (1 106 km³).

Además del agua que ingresa al país por medio de la precipitación, México recibe 48 km³ provenientes de Guatemala y 1.8 km³ del río Colorado y entrega 0.44 km³ del río Bravo a Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América, firmado en 1944. De esta forma, el balance general muestra que la disponibilidad media natural de México es de 472 km³ de agua en promedio al año (Figura 4.3, Diagrama III.2.1.2); valor superior al de la mayoría de los países europeos, pero muy inferior si se compara con Estados Unidos (2 460 km³), Canadá (2 740 km³) o Brasil (5 418 km³).

Debido a que el volumen de agua que se recibe por precipitación es diferente año con año, la disponibilidad de líquido también muestra variaciones temporales y espaciales importantes que son tomadas en cuenta en los programas de planeación hidráulica. Una aproximación de la variación en la disponibilidad de agua que ha tenido México de 1990 a la fecha, si se considera que la evapotranspiración es del orden de 1 100 km³ y no cambia significativamente entre años, muestra que en 1990 y 1993 se tuvo cerca de 40% más de agua disponible, mientras que en 1994, 1996 y 1997 el volumen de agua disponible se redujo alrededor de 30%.

Del total de agua disponible, aproximadamente el 84% (397 km³ en promedio) escurre superficialmente y el resto (75 km³) se incorpora a los acuíferos. El escurrimiento superficial también muestra variaciones importantes en el país. En la región de la frontera sur escurre cerca del 35% del total nacional, encauzado básicamente en los ríos Grijalva

Figura 4.3. Balance de agua en México.



y Usumacinta, mientras que en las penínsulas de Baja California y Yucatán el escurrimiento superficial es mínimo y no llega al 1%, aunque por diferentes causas: en Baja California por su escasa precipitación y en la Península de Yucatán por su poco relieve y sustrato permeable que no facilitan la formación de escurrimientos superficiales de importancia — no obstante, en la planicie yucateca sí se favorece la recarga de agua subterránea — (Tabla 4.4, Cuadro III.2.1.5).

La mayor parte de los escurrimientos superficiales se canalizan por los grandes ríos de México. El Grijalva, Usumacinta, Papaloapan, Pánuco y Lerma-Santiago captan, en conjunto, casi el 54% del escurrimiento superficial (Cenapred, 2001; véase Cuadro III.2.1.6). Debido al régimen climático del país, en casi todos los ríos existe una diferencia notable en el volumen de agua que acarrean en las épocas de lluvias y de secas. Esta variación está acentuada por las obras de retención de agua 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 (Conabio, 1998), lo que trae consigo afectaciones a los ecosistemas acuáticos y costeros.

La capacidad de almacenamiento proporcionada por la infraestructura hidráulica del país es de  $150 \text{ km}^3$ . De las 4500 presas existentes, 840 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con los criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas. La capacidad de almacenamiento conjunto equivaldría al 37% del escurrimiento promedio anual del país; sin embargo, en realidad cerca del 80% del agua se descarga al mar sin ningún aprovechamiento. Si bien las grandes presas podrían aportar agua en las temporadas desfavorables del año, su principal función está centrada en la generación de energía eléctrica y el control de avenidas (por ejemplo, La Angostura, El Malpaso e Infiernillo); en menor medida, y sobre todo en el norte del país, las presas se utilizan para proveer de agua

**Tabla 4.4. Disponibilidad natural, escurrimiento superficial y recarga de agua subterránea en las regiones hidrológicas administrativas del país, 2000.**

Región administrativa	Disponibilidad natural (hm <sup>3</sup> )	Escurrimiento superficial virgen* (hm <sup>3</sup> )	Recarga acuíferos (hm <sup>3</sup> )
I Península de Baja California	4 425	3 012 <sup>a</sup>	1 413
II Noroeste	7 950	5 459	2 491
III Pacífico Norte	24 474	21 933	2 541
IV Balsas	28 191	24 273	3 918
V Pacífico Sur	33 133	31 468	1 665
VI Río Bravo	14 261	9 204	5 057
VII Cuencas Centrales del Norte	6 802	4 729	2 073
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	39 479	32 370	7 109
IX Golfo Norte	24 339	23 071	1 268
X Golfo Centro	102 633	98 930	3 703
XI Frontera Sur	155 906	139 004 <sup>b</sup>	16 902
XII Península de Yucatán	26 496	1 348	25 148
XIII Valle de México	3 802	1 996 <sup>c</sup>	1 806
<b>Nacional</b>	<b>471 891</b>	<b>396 797</b>	<b>75 094</b>

\* Datos preliminares.  
<sup>a</sup> Incluye 1 850 hm<sup>3</sup> que provienen de Estados Unidos.  
<sup>b</sup> Incluye aproximadamente 50 000 hm<sup>3</sup> provenientes de Guatemala.  
<sup>c</sup> Se consideran aguas residuales de la Ciudad de México.

Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Compendio Básico del Agua en México. México, 2002.

a las actividades agrícolas (Cuadro III.2.1.8). De hecho, sólo el 18% del volumen de almacenamiento del país se tiene en zonas ubicadas por arriba de la cota de los 500 msnm siendo que en éstas habita más del 75% de la población y se encuentran las mayores superficies de riego del país. El volumen de agua almacenado en lagos y lagunas es pequeño (poco más de 6 500 hm<sup>3</sup>), ya que México no cuenta con lagos extensos y profundos (Cuadro III.2.1.7).

### Agua subterránea

El número de acuíferos reportados en el país para el año 2000 fue de 653, distribuidos en todo el territorio nacional. El volumen estimado de agua que se extrae de los acuíferos es de 28.5 km<sup>3</sup>/año, cantidad que no varió de manera importante en los últimos diez años. Este volumen corresponde al 38% del estimado de recarga anual para el país, lo que indicaría un balance positivo y, en teoría, todavía una reserva aprovechable importante. Sin embargo, a nivel

regional la situación es muy diferente, las regiones de la Península de Baja California, las Cuencas Centrales del Norte y el Valle de México tienen déficits estimados de 17, 38 y 32%, respectivamente, y la región noroeste está prácticamente con un balance de cero (0.8% de sobreexplotación) (Tabla 4.5).

El problema de la sobreexplotación de los acuíferos es grave. En 1975 existían 35 acuíferos sobreexplotados, cifra que se elevó a 36 en 1981, 80 en 1985 y a 96 en el año 2000 (CNA, 2002), lo cual representa ya el 14% del total de acuíferos registrados en el país. Estos acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones de Baja California, Noroeste, Cuencas Centrales, Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico (Mapa 4.3). Además de la sobreexplotación, 17 acuíferos tienen problemas de intrusión salina (13 de ellos están sobreexplotados), sobre todo aquellos que se localizan en las costas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Veracruz y Colima. En amplias zonas de riego la

**Tabla 4.5. Características de los acuíferos en la República Mexicana por región hidrológica administrativa, 2000.**

Región administrativa	Recarga acuíferos (hm <sup>3</sup> )	Extracción total (hm <sup>3</sup> )	Número de acuíferos	Sobreexplotados sin intrusión salina	Sobreexplotados y con intrusión salina	Sólo intrusión salina
I Península de Baja California	1 413	1 651	87	2	8	1
II Noroeste	2 491	2 512	63	13	5	0
III Pacífico Norte	2 541	1 247	24	1	0	0
IV Balsas	3 918	2 497	43	2	0	0
V Pacífico Sur	1 665	392	38	0	0	0
VI Río Bravo	5 057	3 707	97	14	0	0
VII Cuencas Centrales del Norte	2 073	2 863	71	20	0	0
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	7 109	7 055	127	23	0	1
IX Golfo Norte	1 268	1 089	41	4	0	0
X Golfo Centro	3 703	1 281	21	0	0	2
XI Frontera Sur	16 902	679	23	0	0	0
XII Península de Yucatán	25 148	1 160	4	0	0	0
XIII Valle de México	1 806	2 385	14	4	0	0
<b>Nacional</b>	<b>75 094</b>	<b>28 518</b>	<b>653</b>	<b>83</b>	<b>13</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Compendio Básico del Agua en México. México. 2002.

**Mapa 4.3. Acuíferos sobreexplotados por región hidrológica administrativa.**



Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Compendio Básico del Agua en México. México. 2002.

sobreexplotación de los acuíferos ha acarreado que los niveles de agua subterránea se hayan abatido 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 salina.

El uso racional del agua subterránea es indispensable, ya que cada vez un número mayor de regiones dependerá de

sus reservas almacenadas en el subsuelo como la principal — y quizá única — fuente de líquido. Sin duda, los acuíferos se convertirán en un recurso patrimonial estratégico (CNA, 2001). De hecho, en la actualidad el 70% del agua que se suministra a las ciudades proviene de acuíferos y con ésta se abastece a 75 millones de personas (55 millones en ciudades y 20 millones en comunidades rurales).

### Disponibilidad del agua

Debido a la importancia del agua como un recurso que puede ser limitante para el desarrollo económico y social de los países, en los últimos años se ha intensificado el estudio de la cuantificación de la disponibilidad del líquido.

Existen diversas formas de estimar la disponibilidad de agua que tiene un país o región, pero la precisión y el realismo del valor calculado dependen mucho de la información con que se cuente. Una aproximación muy gruesa es la precipitación total. En este sentido, los 772 mm de precipitación anual que recibe el país lo clasifican en la categoría de países con abundante disponibilidad de agua. Sin embargo, como ya se mencionó antes, México tiene una alta tasa de evapotranspiración que disminuye en forma significativa el volumen de agua disponible. La estimación de la evapotranspiración promedio en México, que es de aproximadamente 1 100 km<sup>3</sup> (73% de la precipitación total), resulta menor que la de África (80%) pero mayor que las de Europa (64%), Asia (56%) o Australia (64%) (PNUMA, 2002). De acuerdo con este balance, el volumen de agua disponible en México es de casi 472 km<sup>3</sup>. 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 (ríos y lagos).

La disponibilidad del agua comúnmente se evalúa a través del volumen de agua por habitante. Si consideramos la cifra del censo de población del año 2000 (97.48 millones de habitantes), la disponibilidad natural de agua para ese año fue de 4 841 m<sup>3</sup> anuales por habitante, volumen que corresponde a una categoría de disponibilidad baja, cerca de los 5 000 m<sup>3</sup>/hab/año que es el límite de disponibilidad media (Tabla 4.6). Para poner en contexto esta cifra, en 1910 la disponibilidad promedio era de 31 000 m<sup>3</sup> por

habitante, para 1950 ya sólo era de un poco más de 18 000 m<sup>3</sup> y en 1970 había caído por debajo de los 10 000 m<sup>3</sup>. Cabe señalar que esta reducción está explicada fundamentalmente por el crecimiento de la población y no por la disminución de la cantidad de lluvia que recibió el país en esos años. Se estima que para 2010, de acuerdo con las proyecciones que realiza la Conapo sobre la población del país, la disponibilidad de agua por habitante se reducirá a 4 180 m<sup>3</sup> y para 2020 se limitará a cerca de 3 750 m<sup>3</sup>/hab/año. En un contexto mundial, la disponibilidad de agua por habitante en México en la actualidad es mucho menor que la que tienen países como Canadá (91 567 m<sup>3</sup>/hab/año), Estados Unidos (8 906 m<sup>3</sup>/hab/año), Brasil (32 256 m<sup>3</sup>/hab/año) y en general toda América del Sur, y es ligeramente superior al promedio de los países europeos (PNUMA, 2002).

**Tabla 4.6. Clasificación de la disponibilidad de agua.**

Volumen de agua (m <sup>3</sup> /hab/año)	Categoría de disponibilidad
< 1 000	Extremadamente baja
1 000 - 2 000	Muy baja
2 000 - 5 000	Baja*
5 000 - 10 000	Media
10 000 - 20 000	Alta
> 20 000	Muy alta

\* Peligrosa en años de precipitación escasa

Fuente: UNDP, UNEP, World Bank and WRI. **World Resources 2000-2001**. WRI, U.S.A. 2000.

Una disponibilidad por debajo de los 1 700 m<sup>3</sup>/hab/año se considera como situación de estrés hídrico (Indicador de Falkenmark, WRI, 2000), donde puede faltar el abastecimiento de agua para las diversas actividades con frecuencia (sobre todo en países con propensión a sufrir sequías, como es el caso de México). Cuando el valor de disponibilidad está por debajo de 1 000 m<sup>3</sup>/hab/año las consecuencias pueden ser más severas y comprometen seriamente la producción de alimentos, el desarrollo económico del país y la protección de sus ecosistemas. En estas circunstancias con frecuencia se carece transitoriamente de agua en determinados lugares y es preciso tomar decisiones que involucren prioridades de uso entre las actividades agrícolas, industriales o el abasto a la población urbana y rural (FNUAP, 2000).

Debido a que una aproximación a una 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 en una escala en la que se considere más estrechamente la fuente de agua con la población que la utiliza (WRI, 2000). En este contexto, si se examina por regiones, México presenta todo el espectro de categorías de disponibilidad de agua. El Valle de México, con poco menos de 200 m<sup>3</sup>/hab/año, se encuentra en la categoría de extremadamente baja, mientras que la región de la Frontera Sur, con cerca de 27 000 m<sup>3</sup>/hab/año, tiene una disponibilidad calificada como muy alta (Tabla 4.7, Mapa 4.4). Si se consideran las regiones que tienen 1 700 m<sup>3</sup>/hab/año o menos, en México existe una población de 31.6 millones de habitantes en situación de estrés hídrico y otros casi 23 millones muy cerca de este nivel.

De acuerdo con un estudio realizado para detectar áreas donde la disponibilidad de agua puede caer por debajo de los 1 700 m<sup>3</sup>/hab/año para el año 2025, en diferentes cuencas de los principales ríos del mundo (y de los cuales se tenía información confiable de aspectos hidrológicos y poblacionales), en México las cuencas de los ríos Balsas, Grande de Santiago y Colorado se encontrarían en esta situación (WRI, 2000). Es importante destacar que en el caso del Río Colorado la mayor parte de la población que habita en su cuenca no se encuentra en territorio mexicano pero actualmente más del 50% del agua superficial que se utiliza en la región de la Península de Baja California proviene de lo que se importa de esa fuente, por lo que el suministro de líquido en esta región puede ser motivo de conflictos en el futuro en la relación bilateral México-Estados Unidos.

Otra forma de evaluar la disponibilidad de agua es mediante la determinación de lo que se conoce como el *grado de presión del recurso* (GPR), que representa la proporción del agua disponible que se extrae en una zona ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales u otros. De acuerdo con este valor, la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU define cuatro categorías que incluyen desde una presión fuerte (la extracción supera el 40% de la disponibilidad natural) hasta una presión escasa (el agua extraída no rebasa el 10% del líquido disponible). México, con un valor de GPR del 15% estimado para el año 2000 se

encuentra en la categoría de presión moderada, valor ligeramente superior al 12% estimado para el promedio de los países de la OCDE (OECD, 2002). No obstante, el valor relativamente bajo de la presión sobre el recurso hídrico que presenta México está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, ya que regiones como la Frontera Sur, Golfo Centro, Península de Yucatán y Pacífico Sur no extraen más del 5% de su agua disponible; en contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte y el Valle de México se encuentran en una situación completamente diferente, ya que su grado de presión tiene valores superiores al 40%, lo que las coloca en la condición de alto estrés hídrico (Tabla 4.8, Mapa 4.5).

Otra medida de la disponibilidad de agua, más cercana a las necesidades de la población, es la que se conoce como intensidad de uso (OCDE, 1998) o extracción per cápita. De acuerdo con este indicador, la disponibilidad en México para el año 2000 fue de 740 m<sup>3</sup>/hab al año, valor semejante al calculado para Japón (720 m<sup>3</sup>/hab) y Francia (700 m<sup>3</sup>/hab) e inferior al de Canadá (1 600 m<sup>3</sup>/hab) y al promedio de países miembros de la OCDE, estimado en alrededor de 900 m<sup>3</sup>/hab (OCDE, 1998).

### Usos del agua

Se calcula que en el año 2000 se extrajeron 72 km<sup>3</sup> de agua de los ríos, lagos y acuíferos del país para los principales usos consuntivos, lo que representa el 15% del agua disponible (presión de demanda). El uso consuntivo predominante en México es el agrícola, ya que en la actualidad el 78% del agua extraída se utiliza para el riego de 6.3 millones de hectáreas (véase **Agricultura y agua**), le sigue el uso público urbano con 11.5% y el industrial con 8.5%. Otros usos como el pecuario o el destinado a la acuicultura consumen el restante 2.2%. Esta distribución del uso del agua es parecida a la que tienen países como Brasil, Egipto y Turquía, pero muy diferente a la de países desarrollados, donde la proporción destinada a usos industriales es mucho mayor (Figura 4.4). Las hidroeléctricas emplean para su funcionamiento un volumen promedio de 143 km<sup>3</sup> de agua para generar 32 624 GWh de electricidad (17% del total del país), pero no la consumen.

## Agricultura y agua

La agricultura es la actividad humana que demanda más agua y la que más efectos tiene sobre este recurso tanto en términos cuantitativos como cualitativos. Consume más del 70% del agua que se extrae en el mundo y frecuentemente está asociada a cambios en la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos por la construcción de presas y canales de riego. Además, las actividades agrícolas promueven la incorporación de sólidos suspendidos producidos por la erosión hídrica del suelo, así como de fertilizantes y plaguicidas.

Existen diferencias importantes en el consumo del agua entre los países desarrollados, que destinan en promedio sólo un 30%, y los países menos desarrollados que destinan hasta un 87%, lo que no implica necesariamente una mayor cantidad, ya que, por ejemplo, el 87% en África equivale a 206 m<sup>3</sup> por habitante al año, mientras que el 47% que destina los Estados Unidos corresponden a 1 029 m<sup>3</sup> por habitante. En México el 78% del agua extraída corresponde a un consumo por habitante de 575 m<sup>3</sup> al año.

La productividad de los cultivos sujetos a riego es muy superior a los de temporal. A nivel mundial el 17% de las superficies agrícolas son regadas y producen entre un 30 y 40% de la producción mundial. En México las 6.3 millones de hectáreas con riego (alrededor del 30% de la superficie agrícola del país) tienen en promedio una productividad 3.5 veces mayor que los cultivos de temporal y producen poco más del 50% de la producción agrícola nacional, aun a pesar de que se ha observado una reducción

de más de medio millón de hectáreas en la superficie cultivada que dispone de riego en los últimos 10 años.

La eficiencia del riego en el mundo es cercana al 40%. Esta baja eficiencia es debida a pérdidas de agua durante la conducción y en su manejo una vez que llega al cultivo. En México se calcula que la eficiencia en el transporte es cercana al 65% y la eficiencia en el manejo en la parcela (debido al método por gravedad e inundación que se utiliza) es del 70%, lo que da una eficiencia global cercana al 45%. El uso de tecnología apropiada en México, como el uso de riego presurizado podría aumentar la eficiencia global hasta en un 60%, lo que implicaría un ahorro de agua de más de 12 km<sup>3</sup> al año. El tipo de cultivo también es un factor importante en el consumo, ya que los diversos cultivos requieren diferentes volúmenes. Por ejemplo, para producir un kilo de papa se requieren cerca de 500 litros de agua, mientras que para producir un kilo de maíz (el cultivo más extendido en el país) la cantidad está en el orden de 1 400 litros.

El uso del agua para fines agrícolas afecta los ecosistemas acuáticos naturales, ya que los productos de las actividades agrícolas como el fósforo y el nitrógeno provenientes de los fertilizantes promueven la eutroficación con daños severos en la vida acuática. Además, la disminución del volumen de agua de los ríos debido a la extracción para uso agrícola disminuye su capacidad de dilución y purificación.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de: CNA. *Compendio Básico del Agua en México*. México. 2002.  
WRI. *Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems*. World Resources Institute. U.S.A. 2000.

Las regiones del país que tienen una mayor extracción destinada al consumo de agua son las del Lerma-Santiago-Pacífico, Pacífico Norte, Río Bravo y Balsas, mientras que las de menor consumo son Pacífico Sur, Frontera Sur y la Península de Yucatán (Figura 4.5). El 60% del agua consumida proviene de fuentes superficiales y el resto de fuentes subterráneas, pero existen diferencias marcadas al interior del país entre la proporción de agua superficial y subterránea que se utiliza. Por ejemplo, en las regiones del Pacífico Norte, Golfo Norte y

Pacífico Sur, el agua procede, en mayor medida, de fuentes superficiales (86, 79 y 75% respectivamente), mientras que en las regiones de las Cuencas Centrales del Norte, Lerma-Santiago-Pacífico, Valle de México y la Península de Yucatán se utiliza una fracción considerable de aguas subterráneas (69, 49, 50 y 89% respectivamente) (Figura 4.6).

Si bien el uso de agua superficial se mantuvo prácticamente sin cambios en todas las regiones del país durante el periodo de 1998-2000, el uso de agua subterránea

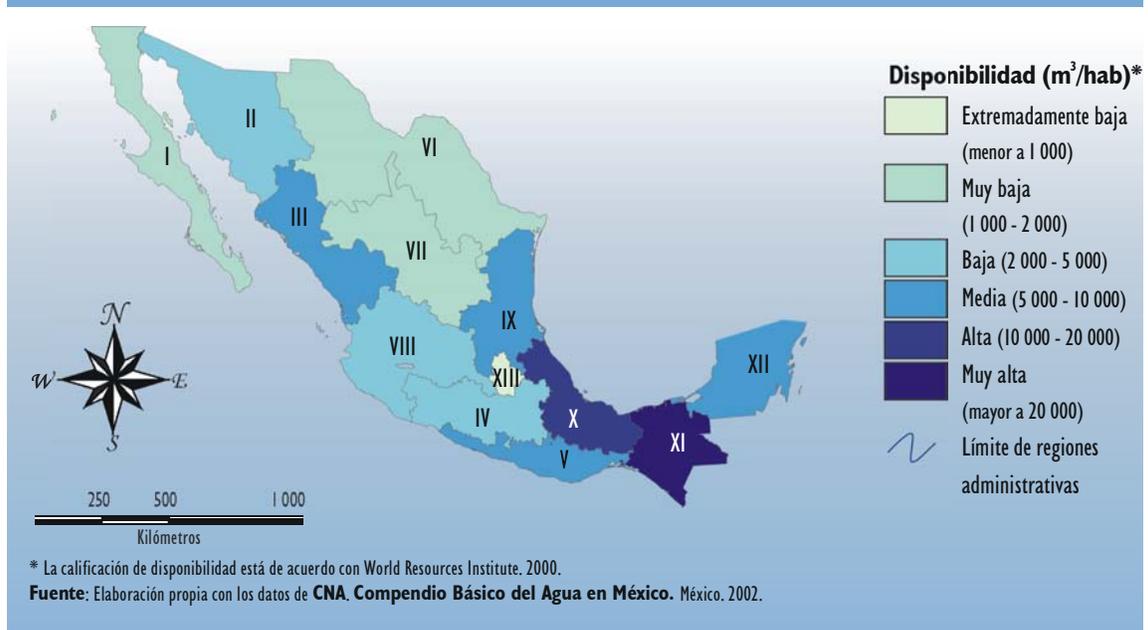
**Tabla 4.7. Disponibilidad de agua por región hidrológica administrativa, 2000.**

Región administrativa	Población año 2000 (millones)	Disponibilidad*	Disponibilidad natural (hm <sup>3</sup> )	Disponibilidad natural por habitante (m <sup>3</sup> /hab/año)
I Península de Baja California	2.75	Muy baja	4 425	1 609
II Noroeste	2.34	Baja	7 950	3 397
III Pacífico Norte	3.88	Media	24 474	6 308
IV Balsas	9.91	Baja	28 191	2 845
V Pacífico Sur	3.98	Media	33 133	8 325
VI Río Bravo	9.43	Muy baja	14 261	1 512
VII Cuencas Centrales del Norte	3.79	Media	6 802	1 795
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	18.94	Baja	39 479	2 084
IX Golfo Norte	4.75	Media	24 339	5 124
X Golfo Centro	9.22	Alta	102 633	11 132
XI Frontera Sur	5.82	Muy alta	155 906	26 788
XII Península de Yucatán	3.25	Media	26 496	8 153
XIII Valle de México	19.42	Extremadamente baja	3 802	196
<b>Nacional</b>	<b>97.48</b>	<b>Baja</b>	<b>471 891</b>	<b>4 841</b>

\* La calificación de disponibilidad está de acuerdo con World Resources Institute, 2000.

Fuente: Elaboración propia con datos de: **CNA. Compendio Básico del Agua en México.** México, 2002.

**Mapa 4.4. Disponibilidad de agua por región hidrológica administrativa, 2000.**

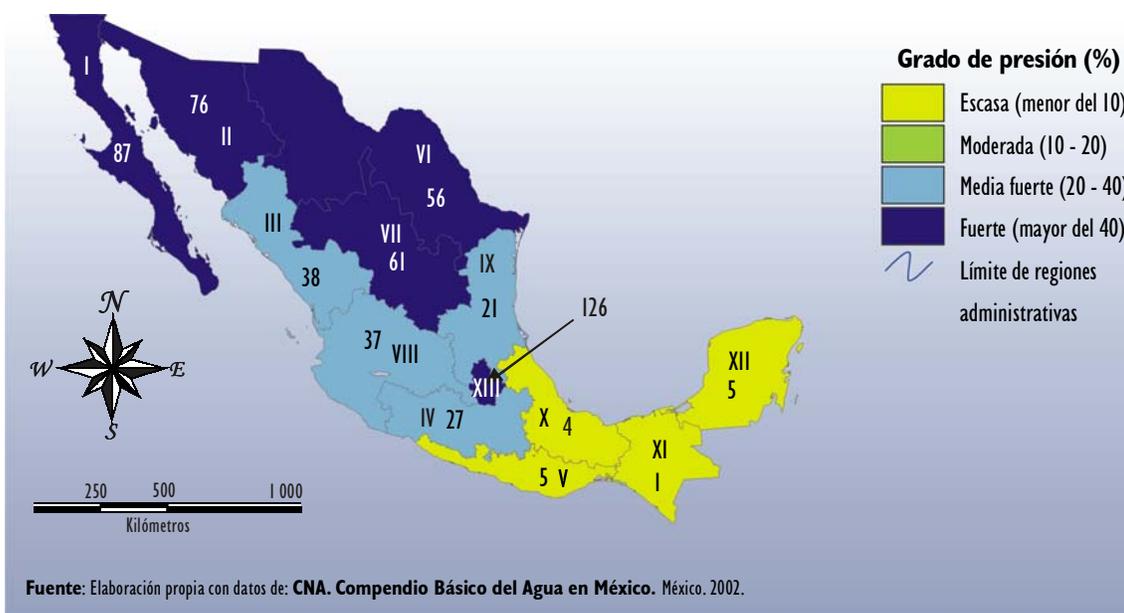


**Tabla 4.8. Grado de presión sobre el recurso hídrico en las regiones hidrológicas administrativas, 2000.**

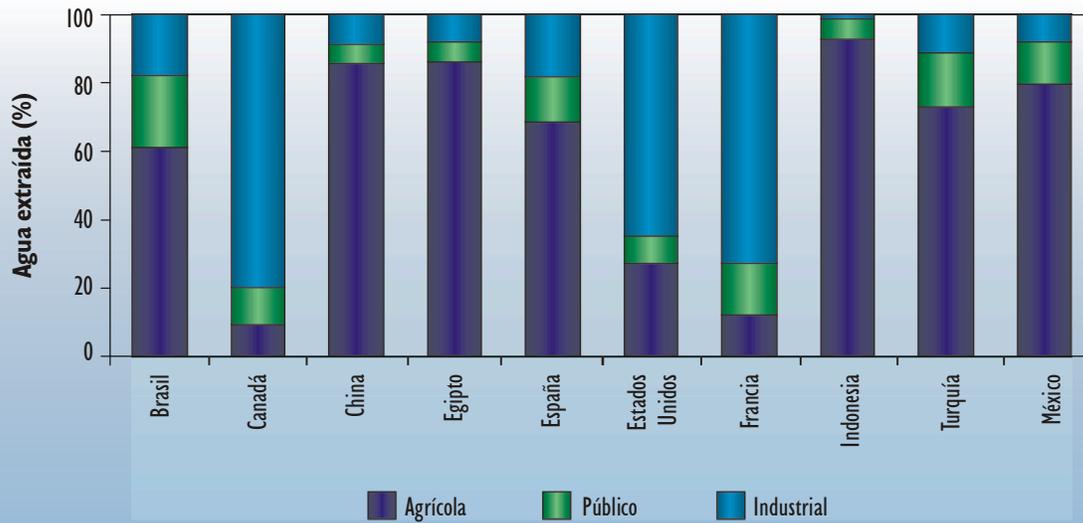
Región administrativa	Disponibilidad natural (hm <sup>3</sup> )	Extracción total anual (hm <sup>3</sup> )	Grado de presión (%)	Categoría
I Península de Baja California	4 425	3 836	87	Fuerte
II Noroeste	7 950	6 028	76	Fuerte
III Pacífico Norte	24 474	9 224	38	Media Fuerte
IV Balsas	28 191	7 730	27	Media Fuerte
V Pacífico Sur	33 133	1 557	5	Escasa
VI Río Bravo	14 261	8 010	56	Fuerte
VII Cuencas Centrales del Norte	6 802	4 172	61	Fuerte
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	39 479	14 514	37	Media Fuerte
IX Golfo Norte	24 339	5 217	21	Media Fuerte
X Golfo Centro	102 633	3 946	4	Escasa
XI Frontera Sur	155 906	1 841	1	Escasa
XII Península de Yucatán	26 496	1 307	5	Escasa
XIII Valle de México	3 802	4 801	126	Fuerte
<b>Nacional</b>	<b>471 891</b>	<b>72 183</b>	<b>15</b>	<b>MODERADA</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Compendio Básico del Agua en México. México, 2002.

**Mapa 4.5. Grado de presión sobre el recurso agua por región hidrológica administrativa, 2000.**

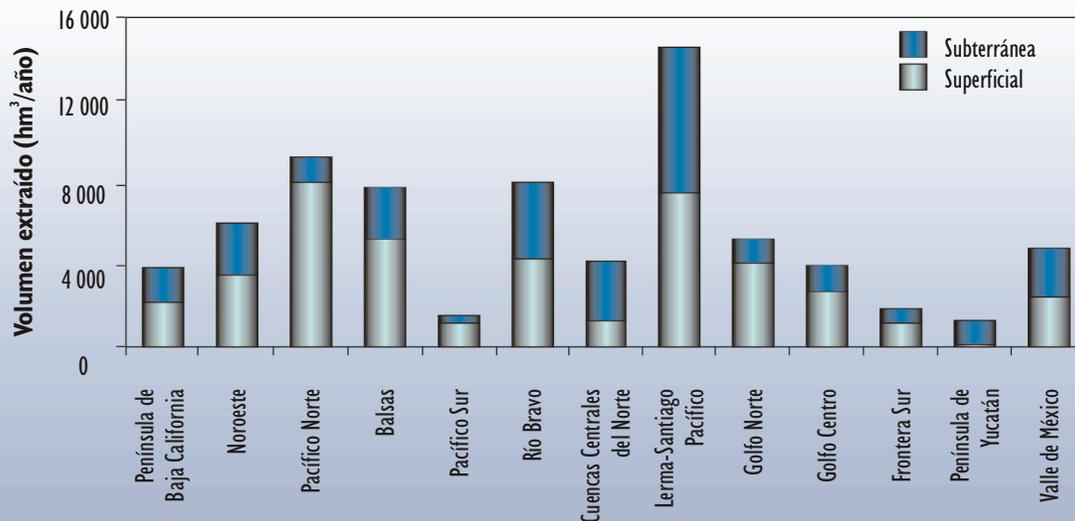


**Figura 4.4. Uso consuntivo del agua en algunos países.**



Fuente: Elaboración propia con los datos de CNA. **Compendio Básico del Agua en México.** México. 2002.

**Figura 4.5. Volumen de extracción de agua por región hidrológica administrativa, 2000.**



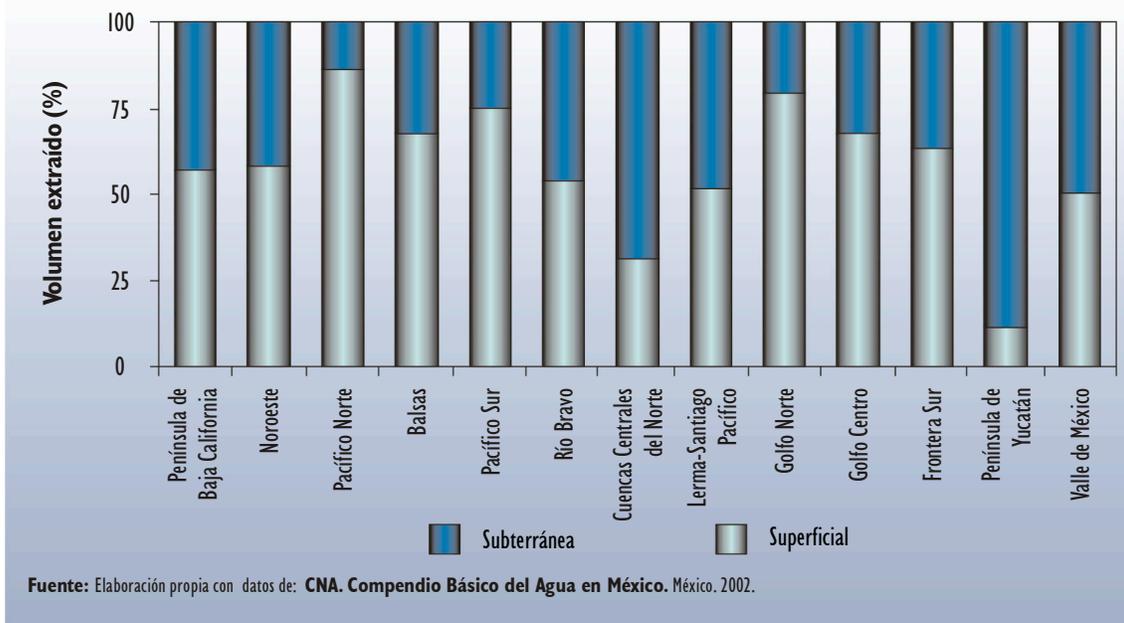
Fuente: Elaboración propia con datos de: **CNA. Compendio Básico del Agua en México.** México. 2002.

sí mostró cambios sustanciales. La región del Pacífico Norte, Cuencas Centrales del Norte y Lerma-Santiago-Pacífico incrementaron el uso de agua subterránea en 11.5, 57.6 y 12.4% respectivamente, mientras que las regiones de la Península de Baja California, Noroeste y Valle de México –

que tienen problemas severos de sobreexplotación de acuíferos –tuvieron reducciones notorias: 28, 11.5 y 7.6% respectivamente.

La proporción de agua que se dedica a distintas actividades muestra diferencias importantes. Mientras que

**Figura 4.6. Procedencia del agua extraída por región hidrológica administrativa, 2000.**



en la región del Pacífico Norte más del 90% del agua se destina a actividades agrícolas, en la región del Golfo Centro no alcanza el 50% (Figura 4.7). Las regiones Pacífico Sur (20.7%), Golfo Centro (16.5%), Frontera Sur (26.3%), Península de Yucatán (27.2%) y el Valle de México (35.6%) son las que, en proporción, designan más agua al uso público urbano. El agua reservada para uso industrial en general es inferior al uso público, excepto en las regiones del Golfo Norte y Golfo Centro, donde resulta superior.

El abastecimiento de agua para uso agrícola proviene principalmente de la superficial (65.8%), en contraste con el agua que se destina al uso público e industrial, que proviene en su mayor parte de fuentes subterráneas (69 y 58% respectivamente; Figura 4.8). Sin embargo, en el periodo de 1998 a 2000 se incrementó el agua subterránea utilizada para fines agrícolas en alrededor de 3 000 km<sup>3</sup>/año, volumen que representa el 52% del agua que se destinó al uso público (Figura 4.9).

### Calidad del agua

La calidad del agua no es un criterio completamente objetivo, pero está socialmente definido y depende del uso que se le piense dar al líquido (WRI, 2000), por lo que cada uso

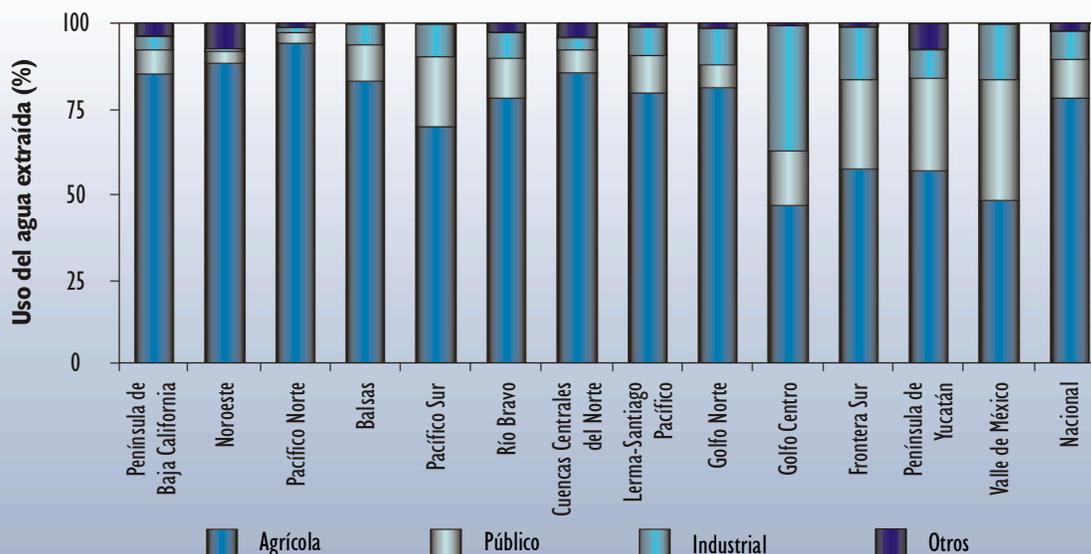
requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua se debe ubicar en el contexto del uso probable que tendrá.

Las estimaciones cuantitativas de la disponibilidad del agua no reflejan por completo el problema de las necesidades de este recurso, ya que la calidad del agua en la mayor parte del mundo está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una quinta parte de la población mundial no tiene acceso a agua libre de contaminantes (FNUAP, 2001), situación que se acentúa en áreas rurales donde no existe la posibilidad de que el agua tenga un tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso general.

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma de agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación.

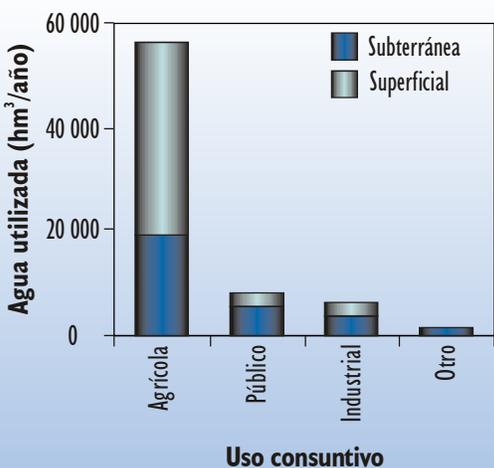
A nivel mundial en los países en desarrollo se da tratamiento a menos del 10% del agua, situación no muy diferente a la de México, donde los porcentajes están cerca del 20%, ya sea agua utilizada en servicios urbanos o

**Figura 4.7. Distribución del uso del agua en las regiones hidrológicas administrativas, 2000.**



Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Compendio Básico del Agua en México. México. 2002.

**Figura 4.8. Distribución nacional del agua por tipo de uso, 2000.**



Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Compendio Básico del Agua en México. México. 2002.

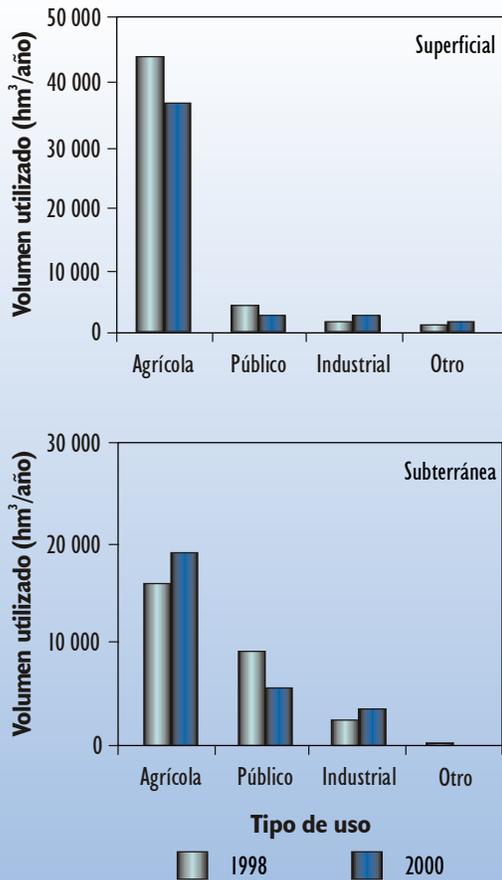
industriales (véase «Servicios y cobertura»). Esto significa que la inmensa mayoría del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de éstos y, en consecuencia, la reducción de agua disponible.

Con el fin de evaluar la calidad o grado de contaminación del agua se han desarrollado diversos índices de calidad tanto generales como de uso específico. En México se emplea el llamado Índice de Calidad del Agua (ICA), que agrupa de manera ponderada algunos parámetros del deterioro de la calidad del líquido (León, 1991). El índice toma valores en una escala de 0 a 100%, donde mientras mayor sea el valor mejor es la calidad. El ICA se calcula a partir de una ponderación de 18 parámetros físicoquímicos, entre los que se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto, coliformes, fosfatos, pH, sólidos suspendidos, etc. (Recuadro III.2.2.2).

En el año 2000, la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RMCA) contaba en su red primaria con 403 estaciones permanentes, de las cuales 215 se ubicaban en cuerpos de agua superficiales, 45 en zonas costeras y 143 en acuíferos. En la red secundaria se tenían 244 estaciones semifijas o móviles, de las cuales 227 estaban localizadas en aguas superficiales y 17 en zonas costeras.

La mayoría de los cuerpos de agua superficiales del país reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, lo que ocasiona distintos niveles de contaminación en

**Figura 4.9. Volumen de agua utilizado por tipo de uso en 1998 y 2000.**



Fuente: Elaboración propia con datos de: CNA. Compendio Básico del Agua en México. México. 2002.

prácticamente todos estos cuerpos. Desde 1974 comenzó a operar un monitoreo de la calidad del agua de los cuerpos más importantes y en los que se habían detectado problemas de contaminación.

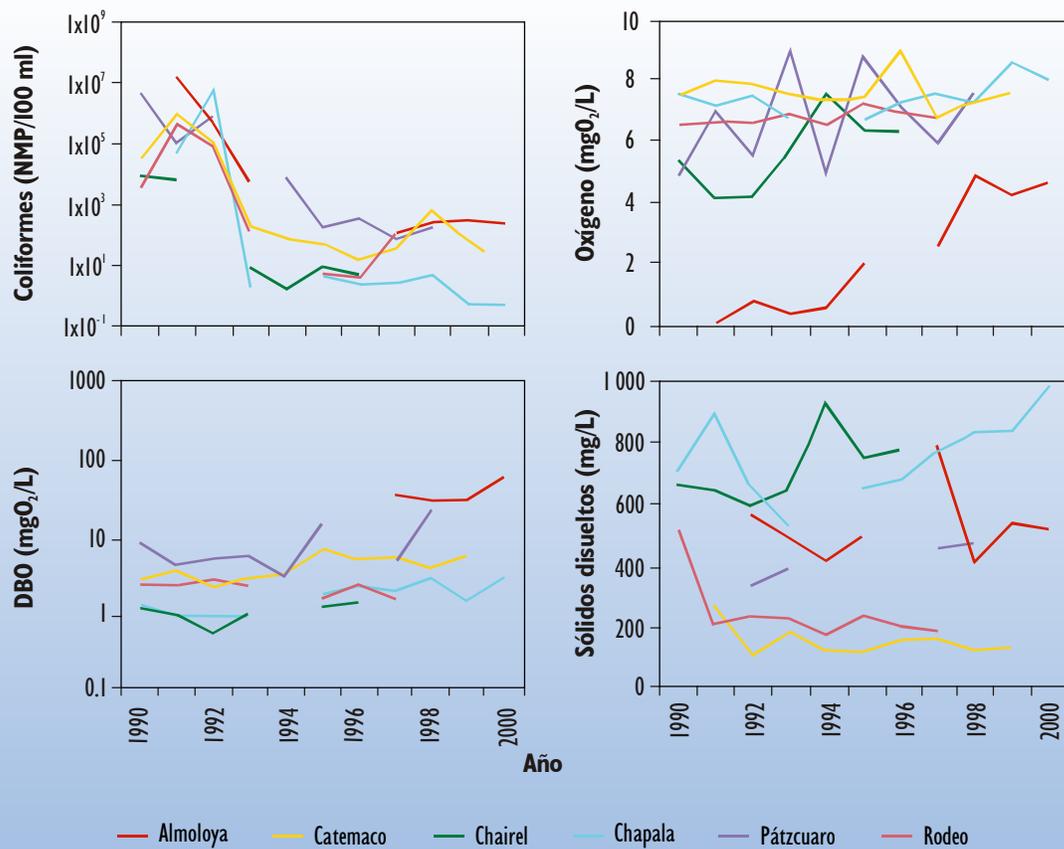
En los lagos monitoreados el hecho más notable es la disminución de la concentración de bacterias coliformes, que refleja un esfuerzo exitoso en el control de las descargas municipales a estos cuerpos de agua (Figura 4.10), destacando la reducción tan clara en el lago de Chapala. En el lago de Almoloya, si bien disminuyó la concentración de coliformes, aún se encuentra por encima del valor considerado como aceptable para uso agrícola o para fuente de abastecimiento de agua potable (Recuadro III.2.2.1).

En el caso de los demás contaminantes no se observa un patrón definido que indique el éxito en su control. La mayoría muestra oscilaciones alrededor de los valores que se registraron a principios de los años 90. Incluso en algunos cuerpos de agua se detectan ligeras tendencias a la alza, por ejemplo, en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en prácticamente todos los lagos. Aunque no existe un criterio definido para evaluar la calidad de este contaminante (Recuadro III.2.2.1), se considera que el agua no contaminada debe tener una DBO menor a 2 mg/L y ésta no debe ser mayor a 5 mg/L, cuando el agua se destina al consumo humano. Si utilizamos este parámetro, los lagos de Catemaco y Pátzcuaro todavía están por arriba de esos valores. Los valores altos de DBO y su constancia en el tiempo indican una falta de control de desechos municipales e industriales (esto último se infiere por el cociente DBO/DQO mayor a tres, lo cual es señal de contaminación industrial), así como una deficiencia en el tratamiento del agua antes de ser vertida. La concentración de oxígeno disuelto muestra fuertes variaciones pero, en general, se ha mantenido en valores aceptables excepto para el caso del lago de Almoloya. En sólidos disueltos, los lagos de El Rodeo y Catemaco muestran disminuciones, mientras que Chairel, Chapala y Pátzcuaro presentan una tendencia a aumentar (Figura 4.10, Cuadros III.2.2.1, III.2.2.2, III.2.2.3, III.2.2.4, III.2.2.5 y III.2.2.6).

A diferencia de los lagos, en los ríos monitoreados no se observa ninguna tendencia clara en ninguno de los contaminantes que muestre una mejor condición de esos cuerpos de agua de 1990 a la fecha. Resaltan algunos casos como el de los ríos Tula, Balsas y Papaloapan que siguen con valores muy altos de coliformes; la DBO ha sufrido una reducción marcada en los ríos Tula y Balsas y un incremento en el Lerma y el Colorado. Los niveles de oxígeno disuelto son aceptables excepto en el Lerma. El río San Juan tiene problemas serios con sólidos disueltos (Figura 4.11, Cuadros III.2.2.7, III.2.2.8, III.2.2.9, III.2.2.10, III.2.2.11, III.2.2.12, III.2.2.13, III.2.2.14 y III.2.2.15). A nivel nacional, las cuencas más contaminadas son las del Lerma, Alto Balsas, Blanco y la de San Juan en Nuevo León; las menos contaminadas, las de los ríos Grijalva y Usumacinta.

La información del Índice de Calidad del Agua de 2001, estimada a partir de los datos de la Red Nacional de Monitoreo,

Figura 4.10. Calidad del agua en algunos lagos de México, 1990-2000.



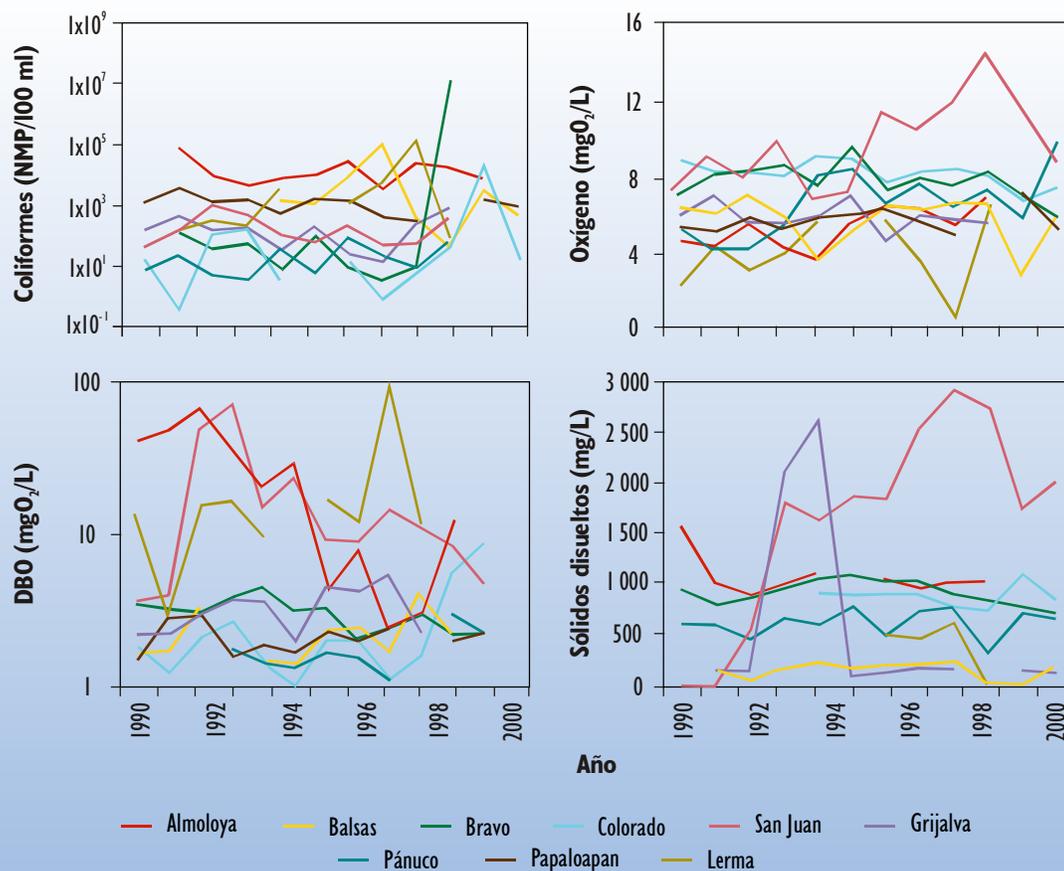
Fuente: Elaboración propia con datos de: Semarnat. Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. 2002.

muestra que sólo el 6% de los cuerpos de agua monitoreados están en la categoría de excelente (valores de ICA mayores a 85) y el 20% tiene valores de entre 70 y 84, lo cual se considera aceptable. La mayor proporción (51%) se encuentra en el intervalo de 50 a 69, que corresponde – según el uso al que se destine – a: 1) requiere de tratamiento mayor para usarse como abastecimiento público, 2) es aceptable, mas no recomendable para uso recreacional, 3) puede afectar especies sensibles de vida acuática, 4) no requiere tratamiento para su uso agrícola o industrial y 5) no tiene problemas para su uso con fines de navegación (Recuadro III.2.2.3). El 16% de los cuerpos de agua están en la categoría de contaminados dentro del intervalo de 30 a 49, valores con los que el líquido sólo podría tener uso industrial o agrícola con tratamiento; su empleo para otros

fines sería dudoso. Por último, el 6% de los cuerpos de agua monitoreados se encuentran altamente contaminados (ICA menor a 30), que los vuelve prácticamente inaceptables para cualquier uso (Figura 4.12).

En cuanto a las regiones hidrológicas administrativas, la que tiene mayores problemas de contaminación es el Valle de México, con un 70% de sus cuerpos de agua monitoreados altamente contaminados. Después figura la Península de Baja California, con un 27%. La región del Noroeste es la que presenta el agua de mejor calidad con el 88% de sus cuerpos de agua en la categoría de aceptable. Las demás regiones están en la categoría de poco contaminadas, concentrando la mayor parte en la categoría de poco contaminados (Cuadro II.2.2.19).

**Figura 4.II. Calidad del agua en algunos ríos de México, 1990-2000.**



Fuente: Elaboración propia con datos de: Semarnat, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua. 2002.

Al comparar los valores de ICA del año 2001 con los obtenidos en 1998 se observa que las regiones del noroeste y Balsas mejoraron sensiblemente su calidad del agua, en contraste con las regiones del Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur y Valle de México, que mostraron un mayor deterioro en la calidad de sus aguas.

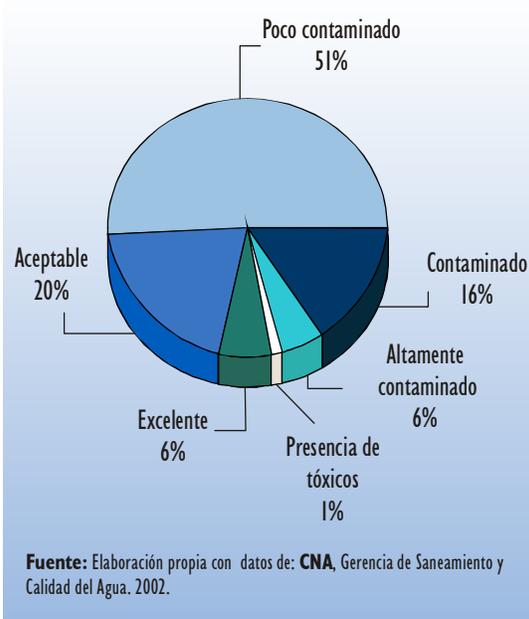
### Servicios y cobertura

La cobertura mundial estimada de agua apta para el consumo humano es de alrededor de 82% (PNUMA, 2002), con grandes contrastes. Por ejemplo, países como Estados Unidos, Francia y Canadá tienen coberturas prácticamente del 100%, mientras que el promedio de África apenas llega al 62%. En

2000 en México se tenía identificada una cobertura de agua potable de 87.8%, ligeramente superior a la estimada para toda América Latina y el Caribe: 85% (PNUMA, 2002). En el periodo de 1990 a 2000 casi 19 millones de personas más tuvieron acceso a agua potable, lo que equivale en términos reales a siete millones más que el incremento total de la población en ese mismo periodo. La cobertura en zonas urbanas pasó de 88.4 a 94.6%, mientras que en zonas rurales la cobertura siguió siendo considerablemente menor al pasar de 51% en 1990 a 68% en 2000.

Al interior del país, durante el mismo periodo todos los estados incrementaron en términos reales la cobertura de este servicio (Cuadro III.2.3.1), aunque existen diferencias importantes en la cobertura y los esfuerzos que ha realizado

**Figura 4.12. Distribución de la calidad del agua (ICA) en cuerpos de agua superficiales, 2001.**



cada uno. Mientras que entidades como el Distrito Federal, Aguascalientes, Colima y Coahuila tienen coberturas superiores al 97%, Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Veracruz y Guerrero no llegan al 75% (Mapa 4.6). También son notorias las diferencias que se manifiestan en los esfuerzos por incrementar la cobertura, por ejemplo Yucatán la incrementó en cerca de 25% para alcanzar un valor de más del 90% en 2000. En contraste, estados como Veracruz enfrentan un problema grande, ya que las tasas de crecimiento del servicio, aunque altas, resultan insuficientes para lograr niveles de cobertura aceptables a corto plazo (véase **Medidas del desempeño ambiental**).

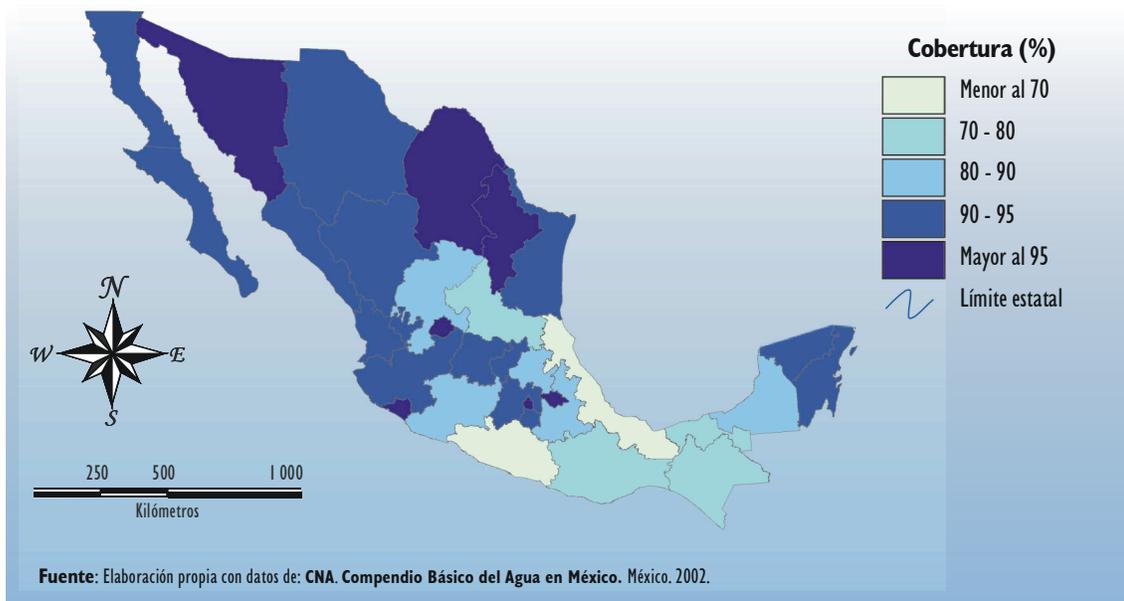
En México, al igual que en el resto del mundo, se realizan más esfuerzos para suministrar agua de calidad aceptable al consumo humano que para servicios de alcantarillado y drenaje. En 2000 la cobertura de alcantarillado en México fue de 76%, valor ligeramente inferior a lo estimado para América Latina y el Caribe, que es del 78% (PNUMA, 2002). 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 del 90% en 2000, mientras que en las segundas apenas se cubrió el 37%.

Aunque todos los estados tuvieron un incremento de la cobertura en el periodo de 1990 a 2000, existen diferencias notables. En el Distrito Federal, Aguascalientes, Jalisco y Nuevo León se tienen coberturas mayores al 90%, mientras que en los estados de Oaxaca y Guerrero no llegan al 50% (Mapa 4.7). Las entidades que tuvieron los mayores incrementos en su cobertura fueron Chiapas, Hidalgo, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Tlaxcala y Zacatecas con aumentos superiores al 20% en los últimos diez años (Cuadro III.2.3.4). Los estados que tienen mayores diferencias entre la cobertura de agua potable y alcantarillado son Yucatán (39.1%), Oaxaca (29.1%) y Campeche (23.9%). El Distrito Federal, Aguascalientes, Colima, Jalisco y Nuevo León tienen diferencias pequeñas que son inferiores al 5%.

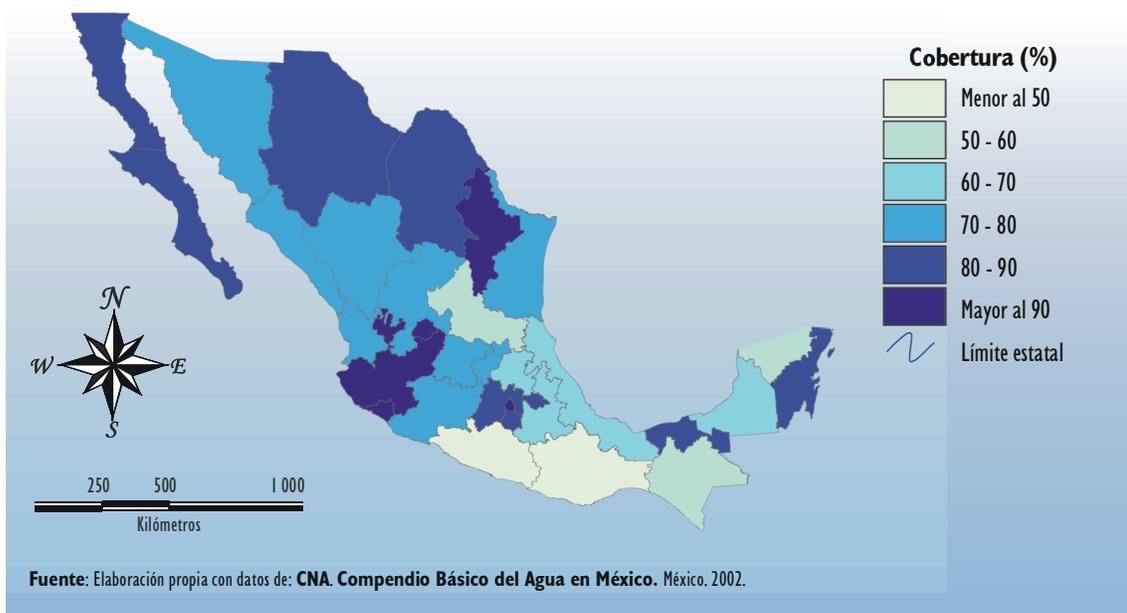
El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es importante para la salud e higiene de la población, razón por la cual es necesaria la construcción de instalaciones específicas para potabilizar el agua de acuerdo con la normatividad. A nivel nacional en el año 2000 se suministraron 312 007 litros por segundo para consumo humano, de los cuales el 94% fue por lo menos desinfectado y el 27% fue potabilizado, en su gran mayoría por el proceso de clarificación completa (Cuadros III.2.3.7 y III.2.3.10).

Estas cifras significan que se suministran alrededor de 268 litros por día por habitante en promedio a nivel nacional, lo cual está por arriba de lo 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). Considerando todo el Estado en su conjunto, Baja California Sur, Colima, Chihuahua, Durango, Morelos, Sonora y Yucatán tienen suministros superiores a los 400 litros diarios por habitante, mientras que Chiapas y Puebla no llegan a los 150 litros. Cabe resaltar el caso de Oaxaca, ya que el suministro apenas alcanzó los 87 litros diarios por habitante y de éstos sólo el 55% fueron desinfectados. El agua potable

**Mapa 4.6. Cobertura de agua potable, 2000.**



**Mapa 4.7. Cobertura de alcantarillado, 2000.**



(esto es, el líquido que atravesó un proceso de potabilización completo y no sólo de desinfección) suministrada fue de sólo 68 litros diarios por persona, en promedio a nivel nacional. Tamaulipas tiene el mayor volumen por habitante con poco

más de 300 litros diarios de agua que se potabiliza por persona, mientras que estados como Baja California Sur, Colima, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Zacatecas no tienen plantas potabilizadoras (Cuadro III.2.3.7).

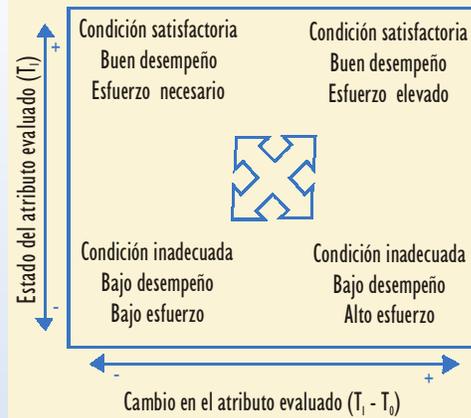
## Medidas del desempeño ambiental

Los desafíos que enfrentan los gobiernos en la actualidad de hacer un uso adecuado de los recursos naturales, así como proveer de los servicios que demanda la población, implican que las políticas y los programas estén fundamentados en información lo más objetiva y completa posible. En este sentido, la evaluación de la situación que guardan tanto los componentes del ambiente (aire, agua, suelo, etc.), la cobertura de los servicios, como el avance que han tenido sus programas deberían ser elementos mínimos de información de los tomadores de decisiones.

Actualmente se ha estado trabajando en el desarrollo de indicadores ambientales que midan tanto la situación como el desempeño ambiental. Buenos indicadores serán aquellos que puedan ser objetivamente cuantificados y tengan la suficiente sensibilidad como para medir el éxito o fracaso de una acción de gobierno en un periodo determinado. En este contexto, los análisis comparativos pueden ser de gran utilidad para analizar el desempeño ambiental.

Existen diversas formas de mostrar el desempeño comparativo de un conjunto de elementos. Uno de ellos es el llamado diagrama de estado-esfuerzo. En éste se evita la medida clásica de cambio relativo (magnitud de la diferencia del atributo entre dos tiempos dividido por el valor del parámetro en el tiempo inicial), ya que tiende a sobreestimar a los elementos que inician con valores bajos y subestimar a los que inician con valores altos (por ejemplo, en un estado con cobertura cercana al 100% los cambios serán mínimos aunque su situación general sea

Figura a. Modelo estado-esfuerzo.



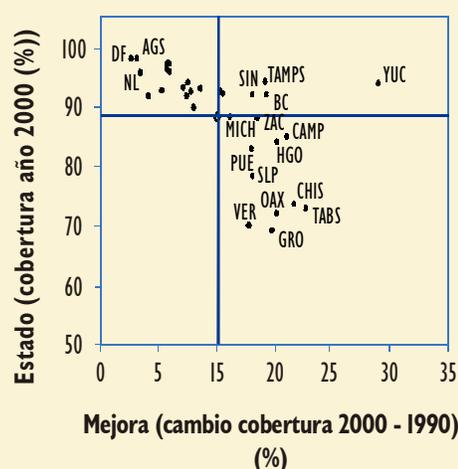
adecuada). En un diagrama como éste (Figura a), se pueden identificar zonas en la gráfica que pueden ser fácilmente interpretadas en el contexto del estado que tiene el elemento y su cambio en el tiempo.

A manera de ejemplo, utilizando la información sobre la cobertura del servicio de agua potable de los diferentes estados del país, es evidente que los estados de Aguascalientes y Distrito Federal tienen una cobertura alta que muestra su buen desempeño aunque no tengan incrementos relativos importantes (Figura b). En contraste, Yucatán muestra un esfuerzo grande que ahora lo coloca con una cobertura adecuada. Estados como Veracruz y Guerrero, aunque tuvieron una mejora sustancial (sus cambios relativos son altos), mantienen todavía una condición de cobertura baja.

Otra manera de representar el desempeño es mediante un diagrama de estado del elemento al tiempo inicial con respecto al final (Figura c).

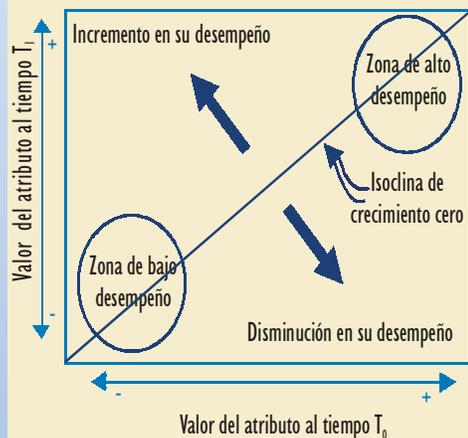
## Medidas del desempeño ambiental (continuación)

Figura b. Cobertura de agua potable.



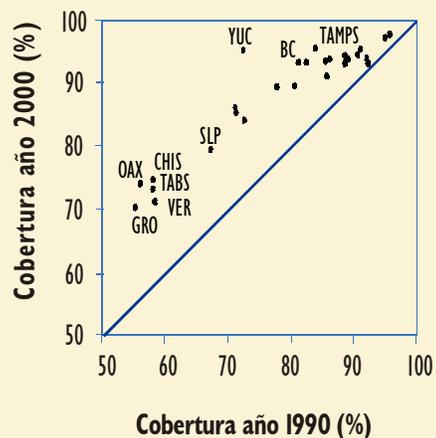
distancia de la línea es una medida de la mejora o disminución de la cobertura del servicio. En el caso de variables en que la medida de desempeño esté relacionada con el tamaño de la población, es importante considerar el cambio de la población en el periodo ya sea con coberturas relativas (como en el caso del servicio de agua potable o de alcantarillado) o bien calculando cocientes como el de agua potable por habitante. Por ejemplo, es evidente en la Figura d que todos los estados tuvieron un incremento real de la cobertura del servicio, ya que ésta creció en términos reales más que la población (un estado que hubiese incrementado su servicio exactamente al mismo ritmo que la población se localizaría sobre la línea) y que los mayores cambios se dieron en los estados que iniciaron el periodo con las menores coberturas, excepto en el caso de Yucatán que tuvo un incremento muy evidente.

Figura c. Modelo estado  $T_0$ .



En este diagrama la línea representa la situación de no cambio (isocлина de crecimiento cero), la zona por encima de la línea indica una mejora y por debajo un decremento de la cobertura. En estos diagramas la

Figura d. Cobertura de agua potable.



El tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales en términos generales es bajo. En el año 2000 se contaba con 1 018 sistemas municipales para el tratamiento de aguas con una capacidad instalada de 75.9 m<sup>3</sup>/seg, de los cuales sólo 793 estaban en operación (77.8%) con un gasto tratado de 45.9 m<sup>3</sup>/seg (60.5%). Los estados de Nuevo León, México, Baja California, Chihuahua, Distrito Federal y Sonora, en conjunto, tratan cerca del 50% del agua residual municipal nacional colectada en las alcantarillas (Cuadros III.2.3.14 y III.2.3.15).

En ese mismo año se estimó que los centros urbanos generaron 250 m<sup>3</sup>/seg de aguas residuales, de los cuales el 80% (200 m<sup>3</sup>/seg) se colectó en el alcantarillado y de éstos el 23% (45.9 m<sup>3</sup>/seg) recibió algún tipo de tratamiento. Al conjuntar la eficiencia de captación y procesamiento del agua se tiene que a nivel nacional sólo el 18.3% del agua residual municipal es tratada antes de ser vertida a los cuerpos de agua. La proporción de agua tratada en México, aunque baja, está por encima del promedio de América Latina, que apenas llega al 13%. La mayor parte del agua tratada en México recibe tratamiento secundario mediante lodos activados y lagunas de estabilización, procesos que tienen una eficiencia para la remoción de DBO de entre un 80 y 90% (Cuadros III.2.3.16, III.2.3.17, III.2.3.18 y III.2.3.20, véase *Tratamiento de aguas residuales*).

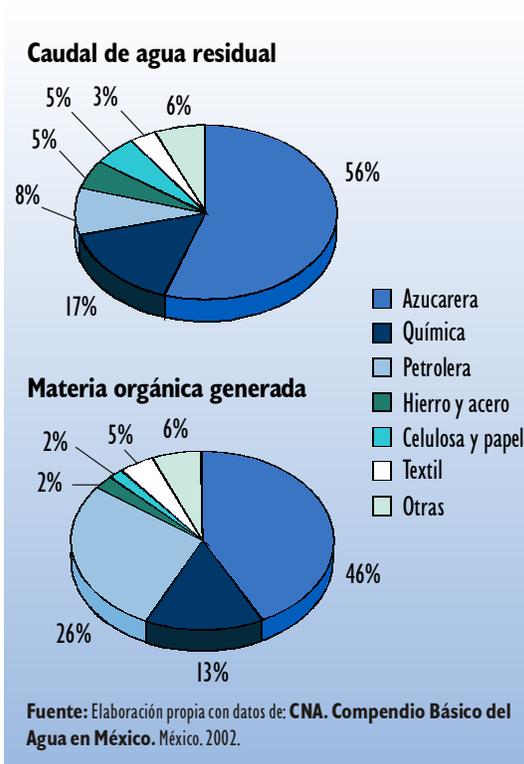
A nivel nacional en el año 2000 se trataron en promedio 39.8 litros diarios de agua residual por habitante, con grandes diferencias entre los estados, ya que Aguascalientes, Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Durango y Nuevo León procesaron volúmenes por encima de 100 litros diarios por persona, mientras que Campeche, Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Veracruz no llegaron a los 10 litros diarios por habitante.

Un indicador aproximado<sup>1</sup> del esfuerzo que hacen los estados para tratar el agua es la relación entre el agua suministrada 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 y Baja California, con una relación entre el agua tratada y la suministrada mayor al 40%; en contraste, Puebla, Veracruz, Yucatán, Zacatecas, Campeche, Chiapas e Hidalgo no alcanzan el 5%.

Las industrias en todo el país emplean alrededor de 6 km<sup>3</sup>/año de agua y descargan 5.36 km<sup>3</sup> (170 m<sup>3</sup>/seg) de aguas residuales que se traducen en más de 6 millones de toneladas de DBO al año. De esta cantidad, sólo el 13% es removido en los sistemas de tratamiento, ya que casi un 45% del volumen de líquido procesado en las plantas de tratamiento de aguas industriales es manejado mediante un método primario que remueve principalmente partículas grandes no disueltas, con eficiencias de remoción de DBO inferiores al 40%. Las industrias que contribuyen con más carga de contaminantes son la azucarera, química y petrolera (Figura 4.13).

En el año 2000 el país contaba con 1 479 plantas de tratamiento de agua residual industrial que procesaban apenas 25.3 m<sup>3</sup>/seg (14.9%) del agua generada. Además del bajo volumen de agua tratada, sólo el 35% (8.8 m<sup>3</sup>/seg)

**Figura 4.13. Distribución del caudal y materia orgánica generada en aguas de desechos industriales, 2000.**



<sup>1</sup> Es aproximado debido a que en los sistemas de alcantarillado, además del agua que se suministra, también reciben agua proveniente de las lluvias.

## Tratamiento de aguas residuales

**Tratamiento primario.** Consiste principalmente en medios mecánicos para la remoción de partículas grandes y no disueltas en el agua. Utiliza cribas, mallas de filtrado, trampas de grasa, tanques desarenadores, tanques de sedimentación, floculadores, aplicación de químicos, etc. Remueve cerca del 60% de los sólidos suspendidos y hasta el 35% de la DBO.

**Tratamiento secundario.** Involucra medios mecánicos para la remoción de partículas grandes y procesos biológicos tanto aerobios como anaerobios. Se utilizan lodos activados, filtros percoladores, reactores anaerobios, biodiscos, etc. Remueve sólidos suspendidos, nitratos, fosfatos, metales pesados, bacterias patógenas y hasta el 85% de la DBO.

**Tratamiento terciario.** Utiliza microfiltración, coagulación y precipitación, absorción por carbón activado, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrodiálisis, remoción de nutrientes, cloración y la ionización.

### Principales procesos de tratamiento de aguas residuales

**Lagunas de estabilización.** Consiste en retener el agua contaminada en estanques poco profundos durante períodos de suficientemente largos para provocar la degradación de la materia orgánica contaminante por medio de la actividad microbiológica. La eficiencia para la remoción de DBO se encuentra entre el 80 y el 90%, aunque es afectada por la temperatura ambiente.

**Lodos activados.** Involucra la producción de una masa activa de microorganismos capaces de remover la materia orgánica presente en el agua. La función del lodo activado es absorber y flocular; contiene una población activa de microorganismos, por lo que es un proceso de contacto aeróbico y requiere de un abastecimiento constante de oxígeno. La eficiencia para la remoción de DBO se encuentra en el rango de los 85 al 90%.

**Tanque séptico.** Consiste en un recipiente cerrado e impermeable que ofrece un tratamiento primario a las

aguas residuales, llevando a cabo una oxidación anaerobia que remueve los sólidos suspendidos y los fragmenta anaeróbicamente. Únicamente remueve alrededor del 45% de la DBO.

**RAFA.** El reactor anaerobio de flujo ascendente cuenta con un sistema de separación gas-líquido-sólido que evita la salida de los sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos. Produce una remoción media de los sólidos suspendidos totales y de entre un 35 y 55% de la DBO.

**Filtros biológicos.** Son filtros que mantienen colonias de bacterias y que son atravesados por la corriente de agua a limpiar, con esto se logra que el agua y las bacterias participen en el reciclaje. Su efectividad está cerca del 80% de DBO removido.

**Tanque Imhoff.** Consiste en un tanque séptico de forma cilíndrica en el cual se lleva a cabo el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales. Posee un dispositivo decantador que evita que los gases y sólidos en suspensión se mezclen, mejorando así la sedimentación y la digestión. Remueve aproximadamente el 60% de la DBO.

**Zanjas de oxidación.** Son zanjas poco profundas, que reciben aguas residuales crudas y las tratan con procesos de estabilización natural. La actividad anaerobia produce la estabilización parcial de los lodos y libera la materia orgánica en forma soluble para su mayor degradación en la zona aerobia. Remueve alrededor del 85% de la DBO.

**Tratamiento anaerobio.** Se realiza por medio de la hidrólisis de los compuestos orgánicos complejos, los cuales producen unidades menores que son transformadas en metano y bióxido de carbono por los microorganismos metanogénicos.

**Primario avanzado.** Incluye la filtración por arena o grava y la desinfección con cloro, luz ultravioleta u ozono. Permite una depuración significativa de organismos patógenos, sólidos suspendidos, DBO, fósforo,  $H_2S$  y metales pesados.

## Tratamiento de aguas residuales (continuación)

**Lagunas de aireación.** Son embalses de escasa profundidad, donde la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación, la cual mantiene los sólidos en suspensión y proporciona oxígeno disuelto a toda el agua. La depuración la realizan bacterias anaerobias. Retienen la mayoría de los sólidos en suspensión que se depositan en el fondo. Remueven hasta un 80% de la DBO.

**Biodiscos.** Son tratamientos biológicos aerobios, en los cuales la población bacteriana se autorregula en función de la afluencia. Se garantiza una calidad constante del efluente. Remueven hasta un 80% de la DBO.

**Biológico.** Son tanques con difusores que generan burbujas de aire que aportan el oxígeno necesario para la degradación aerobia de la materia orgánica disuelta en el agua residual.

**Dual.** Consiste en la degradación de la materia orgánica del agua residual por métodos biológicos. En este proceso las aguas son fuertemente aireadas para estimular el crecimiento de bacterias aerobias y otros microorganismos que oxidan la materia orgánica a bióxido de carbono y agua.

**Digestor anaerobio.** Consiste en el calentamiento de las aguas residuales para una mayor producción de gas, seguido de una sedimentación estática y la separación de los sólidos. Es un tratamiento aeróbico y de lodos.

cumple con las condiciones particulares de descarga descritas en la NOM-001-ECOL. Veracruz es el estado que más descargas produce y también el que más agua residual procesa (cerca del 40% del total nacional), seguido por Nuevo León, Michoacán y Tamaulipas (Cuadros III.2.3.24, III.2.3.25 y III.2.3.27).

### Referencias

- Cenapred. *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. Cenapred. México. 2001.
- CNA. *Compendio Básico del Agua en México*. CNA. México. 2002.
- CNA. *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*. CNA. México. 2001.
- Conabio. *La diversidad biológica de México: estudio de país*. Conabio. México. 1988.
- FNUAP. *El estado de la población mundial 2000. Huellas e hitos: población y cambio del medio ambiente*. 2001.
- León, L. F. *Índice de Calidad del Agua*, ICA. Inf. # SH-9101/01. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 1991.
- OCDE. *Análisis del desempeño ambiental: México*. OCDE Francia. 1998.
- OECD. *OECD in figures: statistics on the member countries*. Supplement I. France. 2002.
- PNUMA. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-3*. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.
- WRI. *Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems*. World Resources Institute. U.S.A. 2000.