

El agua epicontinental de México

Javier Alcocer

Lagos, presas, ríos y arroyos forman lo que se denomina aguas epicontinentales. Estos cuerpos acuáticos de México son de gran importancia para la vida silvestre, la biodiversidad y el ecoturismo. Para su conservación es urgente desarrollar planes de manejo sustentable.

Quien lea este texto querrá, antes que nada, saber por qué se utiliza la denominación “agua epicontinental” en lugar de “agua dulce”. En primer lugar, se utiliza el término “epicontinental” para diferenciar las aguas que se ubican *sobre la superficie* de los continentes (por ejemplo, ríos, lagos, presas) de aquellas que se encuentran *por debajo* de ésta, mejor conocidas como aguas subterráneas. La razón por la que se emplea el término “aguas epicontinentales” en vez de “aguas dulces” es simple: no toda el agua epicontinental es “dulce”. Aproximadamente la mitad (en área y volumen) del agua epicontinental del mundo es salada; la otra mitad es dulce.

La pregunta siguiente es, ¿cuál es la concentración de sal que diferencia el agua dulce de la salina? Aunque no existe razón de peso, por convención se ha aceptado —con algunas bases fisicoquímicas y biológicas— que la concentración límite entre agua dulce y salada es 3 gramos por litro. La razón más fácil para entender por qué se eligió esta concentración es que es precisamente a esa salinidad cuando la mayoría de los humanos comienzan a percibir lo salado.

Existe gran cantidad de lagos y ríos en el mundo que son salados. Algunas veces más salados que el mar (35 gramos por litro); por ejemplo, el Mar Muerto, en Israel, que posee casi medio kilo de sal disuelta en cada litro de agua. Los lagos salados más conocidos en México son Texcoco, en la ciudad de México, y Cuitzeo, en Morelia.



Disponibilidad del agua epicontinental en México

México posee recursos acuáticos epicontinentales limitados, que constituyen tan sólo el 0.1 por ciento del total de las reservas del mundo. Existen dos tipos de aguas epicontinentales: las *lénticas* (por ejemplo lagos y presas) y las *lóticas* (como ríos y arroyos). A nivel nacional, los recursos acuáticos lénticos son menos importantes que los lóticos; sin embargo, son recursos fundamentales a escala regional y local.

El uso sustentable del agua y sus recursos requiere de una mejor comprensión y manejo de lo que hasta hoy se ha venido haciendo. Sin embargo, integrar con exactitud información acerca de la distribución, drenaje y suministro de agua en México no es una tarea sencilla, ya que la información colectada por las autoridades federales, estatales y locales encargadas del ma-

nejo y planeación del agua es frecuentemente disparatada, rara vez se encuentra disponible y no ha sido recolectada, integrada o analizada por la comunidad científica.

Es esencial conocer la cantidad y ubicación de los recursos acuáticos epicontinentales, para desarrollar planes de manejo sustentable y conservación. Enseguida se presenta una breve semblanza acerca del marco hidráulico, climático, geográfico y geológico de México, de cuya interacción ha resultado un paisaje heterogéneo tanto en lo relativo a la geografía física como al clima. Esto se refleja en una distribución y abundancia muy dispar de los recursos acuáticos epicontinentales en el país.

Como se mencionó, la elevada diversidad climática y fisiográfica en México ha dado por resultado una distribución inestable y heterogénea del recurso acuático continental (SEDESOL, 1993; INEGI, 1995). El promedio del principal suministro de agua dulce en México, el agua de lluvia, es de 700-770 milímetros anuales, aunque varía en un amplio intervalo, desde menos de 100 milímetros en el noroeste de la República, hasta más de mil 500 milímetros en el sureste. Esto se traduce en un volumen de entre 953 mil y 1.57 billones de metros cúbicos. A pesar de lo anterior, la mayoría de la precipitación pluvial se pierde por evapo-transpiración (60-72 por ciento) e infiltración (10-20 por ciento), por lo cual tan sólo el 10-28 por ciento (de 311 mil a 410 mil millones de metros cúbicos) circula a través de los ríos (INEGI, 1995; SEDESOL, 1993). Como se aprecia en las

cifras anteriores, la precipitación decrece del sureste hacia el noroeste del país.

México posee cuatro zonas climáticas (SEDESOL, 1993; Figura 1). Más de la mitad del territorio (52.7 por ciento) tiene un balance hídrico negativo (áreas desérticas, áridas y semiáridas como Baja California, el noroeste de México y las cuencas interiores); el restante 47.3 por ciento tiene un balance hídrico positivo (las áreas húmedas o subhúmedas como Tabasco, la mayoría de Veracruz, el sur de Sonora, norte y centro de Sinaloa, la costa de Oaxaca, Nayarit y Chiapas). Ambas áreas tienen severos problemas asociados con la disponibilidad del agua. Las sequías son comunes en la primera; las inundaciones en la segunda (INEGI, 1995; SEDESOL, 1993).

La *zona árida* se localiza en la porción norte de México (21°30'-32°40' Norte y 97°50'-117°08' Oeste), y cubre un área de 1 027 051 kilómetros cuadrados (52.47 por ciento de la superficie total del país). A lo largo de la vertiente del Pacífico, del paralelo 28 al Istmo de Tehuantepec, la *zona tropical seca* cubre 254 mil 927 kilómetros cuadrados (13.01 por ciento).

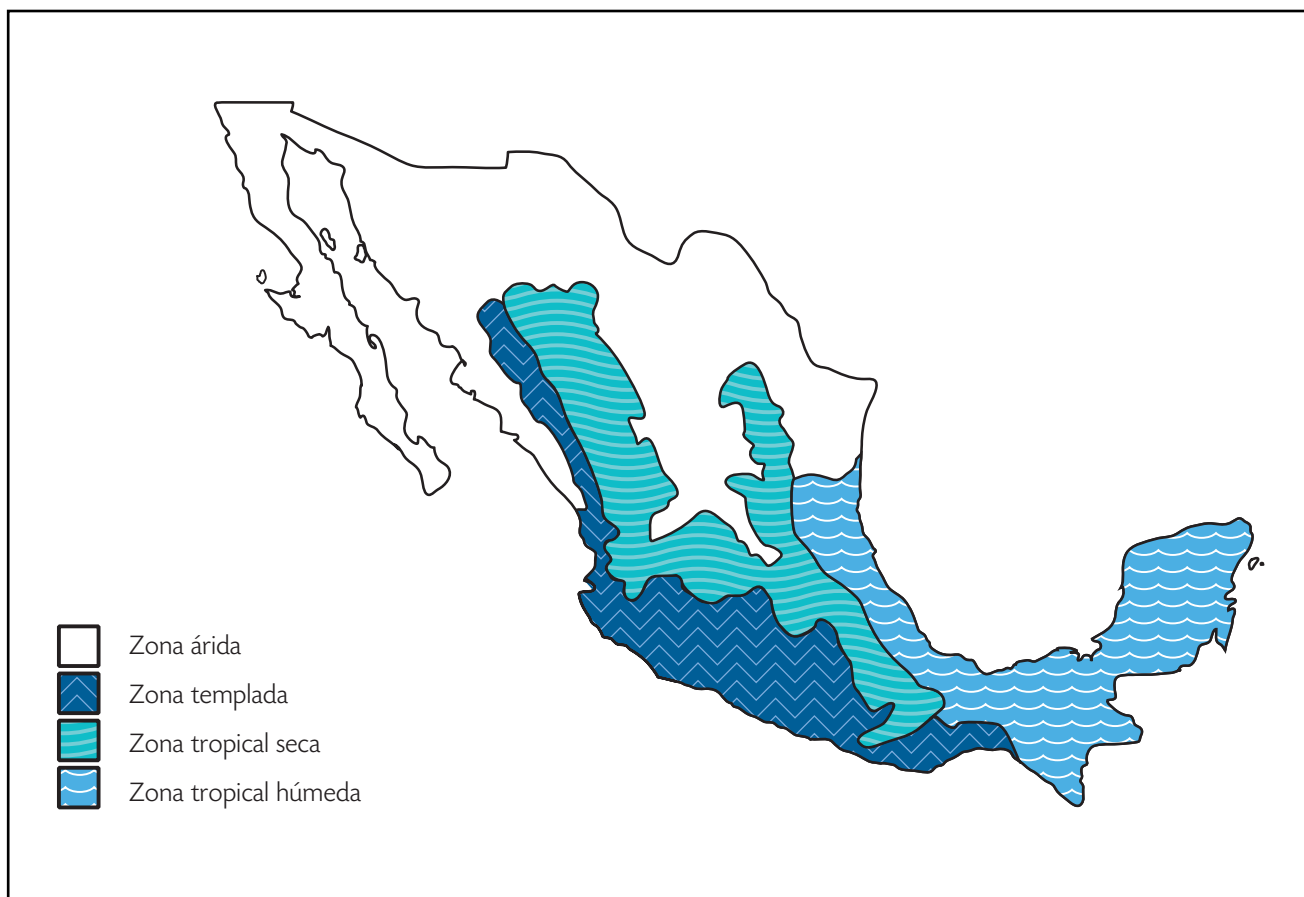


Figura 1. Principales tipos de climas en México.

En esta área hay un déficit de agua con una precipitación de entre 500 y 600 milímetros anuales. La *zona templada* está delimitada por las Sierras Madre Oriental y Occidental, el Eje Volcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur. Cubre una superficie total de 390 mil 241 kilómetros cuadrados (19.92 por ciento). En esta zona el problema principal es la contaminación del agua (SEDESOL, 1993). Finalmente, la *zona tropical húmeda* (20°35'-23°14' Norte y 87°01'-99°06' Oeste) se extiende a lo largo de la planicie costera del Golfo de México. Esta zona (285 mil 983 kilómetros cuadrados, 14.6 por ciento) posee la biodiversidad terrestre y acuática más grande del país (SEDESOL, 1993).

Los recursos lóticos de México

México se ha dividido en 37 regiones hidrológicas, clasificadas en tres grandes vertientes (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1976): la vertiente del Océano Pacífico (incluyendo la península de Baja California), la vertiente del Golfo de

México y Mar Caribe y, finalmente, las cuencas de drenaje interior o endorreicas (es decir, que no drenan al mar).

Existen cerca de 320 cuencas de drenaje en México (SEDESOL, 1993) que cubren un área de 530 mil 310 kilómetros cuadrados, aproximadamente 27 por ciento del territorio nacional. Hay cuatro vastas regiones que no presentan drenaje superficial: el desierto o Bolsón de Mapimí, el desierto de El Salado y las penínsulas de Yucatán y Baja California. Fuera de estas zonas, tan sólo 34 son consideradas cuencas de drenaje principales, de acuerdo al volumen de agua que transportan. Doce de ellas drenan al Golfo de México y Mar Caribe, trece al Océano Pacífico y nueve son endorreicas.

A través del territorio nacional corren numerosos ríos (Figura 2). Con algunas excepciones –por ejemplo el Lerma-Santiago que es



Figura 2. Principales recursos acuáticos lóticos (ríos y corrientes) de México. (Modificado de INEGI, 1989).

uno de los principales de México—, la mayoría de los ríos que drenan a la vertiente del Pacífico son inmaduros. Los ríos inmaduros son cortos, de gran pendiente y por lo tanto rápidos, con un bajo volumen de descarga y una larga estación de secas que da por resultado un

El primer inventario nacional de lagos mexicanos fue elaborado por Tamayo (1962). Posteriormente, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1995) proporciona un balance de 2 mil 100 kilómetros cuadrados de lagos y 4 mil 810 kilómetros cuadrados para reservorios

bajo volumen de agua, que hace que no sean navegables. Los principales ríos de esta vertiente son: Colorado, Yaqui, Fuerte, Sinaloa, Culiacán, San Lorenzo, Piaxtla, Presidio, Baluarte, Acaponeta, Lerma-Santiago, Armería, Coahuayana, Balsas, Papagayo, Ometepepec, Verde, Tehuantepec y Suchiate.

Por otro lado, los ríos de la vertiente oriental (Golfo de México y Mar Caribe) son maduros. Lo anterior significa que son más largos, de menor velocidad, debido a una menor pendiente, con una estación de secas breve y por lo tanto de gran volumen, y consecuentemente navegables. Entre los principales ríos de esta vertiente se pueden mencionar: Bravo del Norte (Río Grande), Pánuco, Nautla, Tuxpan, Cazonnes, La Antigua, Cotaxtla, Tecolutla, Jamapa, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Usumacinta y Candelaria.

Finalmente, los principales ríos de la vertiente interior son: Casas Grandes, Santa María, Carmen, Nazas, Aguanaval y De la Cadena. Aunque el volumen promedio de descarga de los ríos de las cuencas endorreicas es bajo, es extremadamente importante a nivel local, esencialmente porque están ubicados en la región árida o semiárida de la República.

En la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe se descarga 58.81 por ciento (245 mil 167.7 millones de metros cúbicos) del volumen de los ríos mexicanos. La vertiente del Pacífico

drena 39.22 por ciento (160 mil 855.7 millones de metros cúbicos) y, finalmente, la vertiente interior drena 0.97 por ciento (3 mil 997.6 millones de metros cúbicos) restante. Lo anterior significa que sólo 3 por ciento del volumen total de los ríos fluye en la parte norte de México, mientras que 50 por ciento drena a través de los ríos del sureste.

Ahora bien, esta disparidad en la disponibilidad de agua en México no sólo es latitudinal; también es temporal y altitudinal. La lluvia es la fuente de abastecimiento de la mayoría de los ríos en México; por tanto, hasta 90 por ciento del total anual de drenaje se descarga durante la temporada de lluvias, que abarca de 4 a 6 meses, aproximadamente de mayo a octubre. Sin embargo, durante la temporada fría se presentan breves periodos de lluvias asociados con los “nortes” y los ciclones (SEDESOL, 1993; INEGI, 1995).

Esta distribución desigual es también conspicua en relación a la altitud, ya que 80 por ciento del agua continental se localiza por debajo de los 500 metros, y tan sólo un 5 por ciento por encima de los 2 mil metros sobre el nivel del mar. En contraparte, 76 por ciento de los mexicanos y dos terceras partes de la industria de manufactura y tierras agrícolas y ganaderas están localizados en los altiplanos mexicanos (INEGI, 1995).

Los recursos lénticos de México

Como se mencionó con anterioridad, los recursos acuáticos lénticos (lagos, lagunas y presas; Figura 3) son de menor cuantía que los lóticos. El primer inventario nacional de lagos mexicanos fue elaborado por Tamayo (1962). Posteriormente, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1995) proporciona un balance de 2 mil 100 kilómetros cuadrados (14 mil millones de metros cúbicos) de lagos y 4 mil 810 kilómetros cuadrados (107 mil millones de metros cúbicos) para reservorios.

Los grandes cuerpos acuáticos lénticos (es decir, de más de medio millón de metros cúbicos) suman 92 lagos y 611 reservorios (Vidal y colaboradores, 1985). La mayoría de los grandes lagos están en Chihuahua y Tabasco (39, o 42.4 por ciento) mientras que Jalisco, Michoacán y Guanajuato tienen la mayor cantidad de presas (224, o 36.7 por ciento). No resulta sorprendente que los reservorios sean más numerosos en aquellas zonas donde existe bajo suministro de agua natural.

Los cuerpos naturales de agua son abundantes en las zonas del Golfo de México y el sureste (37-40 por ciento), en contraparte con las zonas norte (24-26 por ciento), centro (19-21 por ciento) y Pacífico (12-13 por ciento). La mayoría de los lagos (85 por ciento de los aproximadamente 12 mil) son pequeños, con áreas superficiales de entre 0.01 y 0.1 kilómetros cuadrados, y se encuentran ubicados en la región centro occidental del altiplano mexicano. La distribución geográfica de los lagos naturales en México está asociada a las condiciones climáticas como una expresión de la disponibilidad de agua.

Existen ocho lagos cuyas áreas superan los 100 kilómetros cuadrados: Chapala, en Jalisco; Cuitzeo y Pátzcuaro, en Michoacán; Catazaja, en Chiapas; Del Corte, en Campeche; y Bavícora, Bustillos y Encinillas en Chihuahua. Sin embargo, debido a las sequías, algunos de estos lagos se han visto reducidos ampliamente o desecados.

Por otro lado, las grandes presas (de más de millón y medio de metros cúbicos) han sido construidas a lo largo de la costa del Pacífico (por ejemplo, Sonora, Sinaloa, Jalisco, Michoacán) así

como en la región centro norte (por ejemplo, Coahuila, Chihuahua, Durango), y un número menor –pero no por ello menos importante– en el resto del país.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2005) existen alrededor de 4 mil presas en México, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas, de acuerdo con la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (*International Commission on Large Dams, ICOLD*). De éstas, 22 poseen una capacidad total de almacenamiento superior a un kilómetro cúbico, y en total representan casi 60 por ciento de la capacidad de almacenamiento del país. Se trata de las presas de El Novillo (Plutarco Elías Calles), El Oviachic (Álvaro Obregón), El Mahone (Miguel Hidalgo y Costilla), El Huamaya (Adolfo López Mateos), El Comedero (José López Portillo), Bacurato

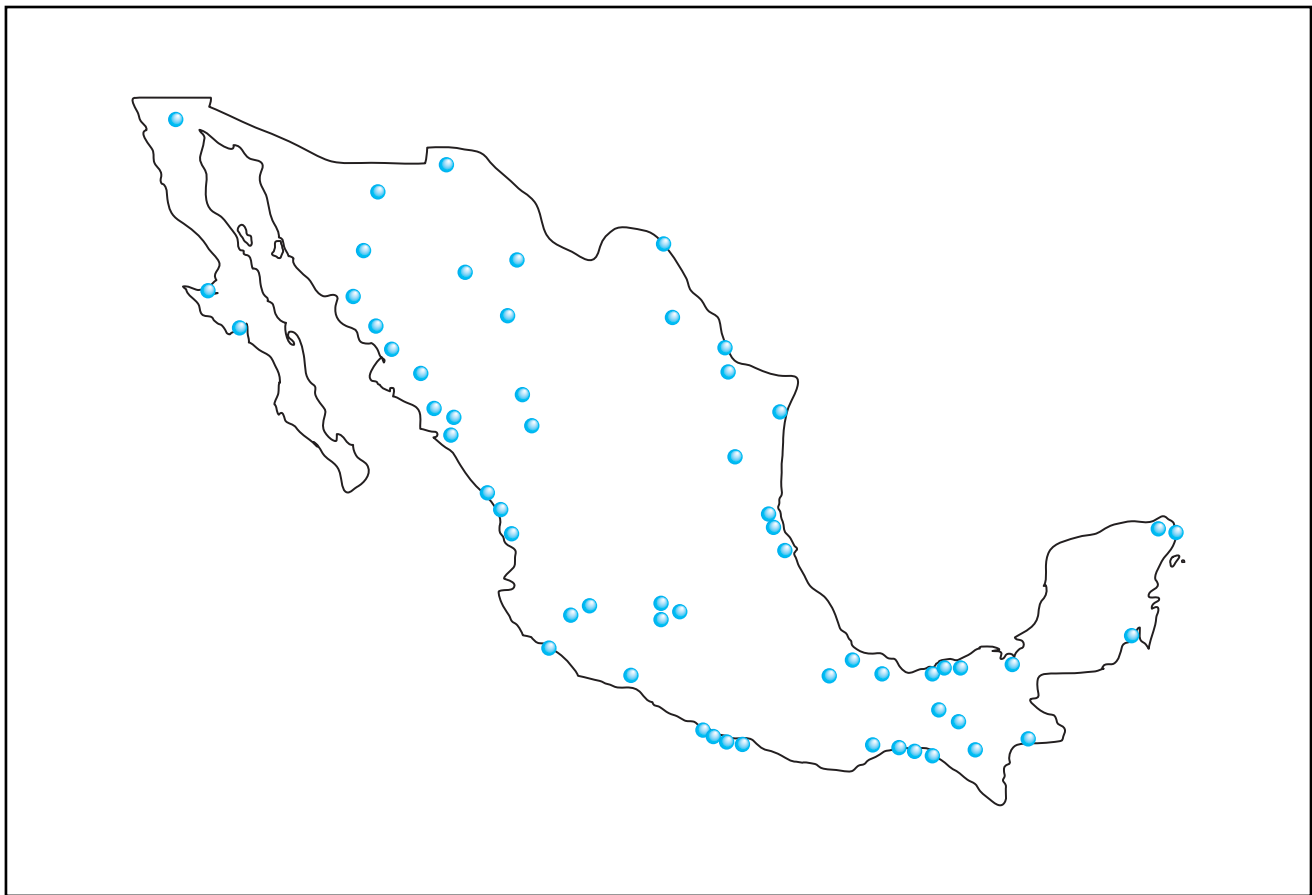


Figura 3. Principales recursos acuáticos lénticos (lagos, lagunas y presas) de México. (Modificado de INEGI, 1989).

(Luis Donaldo Colosio), Lago Torono (La Boquilla), El Palmito (Lázaro Cárdenas), La Amistad (Internacional La Amistad), Don Martín (Venustiano Carranza), Falcón (Internacional Falcón), El Cuchillo (Cuchillo Solidaridad), Las Adjuntas (General Vicente Guerrero), Aguamilpa (Solidaridad), Zimapán (Ingeniero Fernando Hiriart), Infiernillo (Infiernillo), Temascal (Presidente Miguel Alemán), El Caracol (Carlos Ramírez Ulloa), Cerro de Oro (Miguel de la Madrid), Peñitas (Ángel Albino Corzo), Chicoasén (Manuel Moreno Torres) y La Angostura (Doctor Belisario Domínguez).

Problemática de las aguas epicontinentales en México

Como se mencionó, las disparidades en la disponibilidad del agua superficial en México son latitudinales, estacionales y en altitud. Esta perspectiva se torna aún más preocupante cuando se considera no sólo la cantidad,

sino también la calidad del recurso acuático. Al respecto, Alcocer (2002) expone los desafíos a los que se enfrenta el país en relación con las aguas epicontinentales en México, y que a continuación se resumen.

Urbanización y contaminación acuática

La urbanización es una realidad de nuestros días. El mejor ejemplo se presenta con la ciudad de México, megalópolis que se extiende sobre 750 kilómetros cuadrados y que es hábitat de alrededor de 22 millones de capitalinos. La falta de tratamiento de las aguas residuales, la costumbre de utilizar contenedores abiertos para los residuos sin tratamiento y la falta de control sobre los residuos peligrosos incrementan el riesgo de contaminar tanto las aguas superficiales como las subterráneas con compuestos químicos y microbios.

La contaminación acuática es uno de los retos principales a que se debe enfrentar cualquier programa para el manejo sustentable de los recursos acuáticos superficiales. Enormes cantidades de desechos domésticos e industriales se han descargado a lo largo de los años en ríos y lagos, generando un deterioro sin precedente de la calidad del agua. Las estadísticas gubernamentales muestran que la mayor parte de las aguas superficiales



en el país se encuentran en la categoría de “contaminadas” a “excesivamente contaminadas”, y tan sólo algunos pocos lugares no presentan contaminación o ésta es muy leve. Las principales cuencas (Balsas, Grijalva, Lerma, Pánuco y Papaloapan, entre otras) presentan tal grado de contaminación que, aun si fuera posible evitar que se siguieran vertiendo contaminantes en este mismo momento, tomaría entre 10 y 30 años (y enormes costos de operación) su recuperación hasta las condiciones previas a la contaminación.

El subsidio que tradicionalmente ha venido dando el gobierno a las obras de suministro de agua potable y drenaje ha propiciado que se presente un fuerte déficit en el sistema financiero, la pérdida del agua por fugas en el sistema de transporte y por uso ineficiente, y la falta o deficiente tratamiento de las aguas residuales que se han traducido en contaminación. De especial importancia es la pérdida de agua debido a la gran cantidad de fugas que se presentan por el mal estado de las tuberías de agua potable; baste mencionar que éstas podrían satisfacer las demandas de una ciudad del tamaño de Roma.

Agricultura: un problema enorme

La irrigación de cultivos emplea dos terceras partes del agua que se usa en todo el mundo; esta cifra asciende hasta el 90 por ciento en los países en desarrollo. La irrigación de las zonas áridas o semi-áridas en el país ha llevado a la desecación de innumerables cuerpos acuáticos. A pesar de que existen tecnologías que pueden reducir a la mitad la demanda de agua para riego con la misma o mayor eficiencia, la inundación de terrenos es aún el método preferido por los agricultores mexicanos.

Es muy claro que la agricultura en las zonas norte y centro del país sería imposible sin irrigación; sin embargo, la falta de agua superficial en esas regiones ha propiciado la sobreexplotación de los mantos acuíferos. De esta manera, los cuerpos acuáticos superficiales están expuestos a la desecación por dos lados: por arriba (superficie) y por debajo (agua subterránea).

Existen innumerables ejemplos del proceso de desecación gradual de los cuerpos acuáticos superficiales. Los cuatro lagos de Valle de Santiago, en Guanajuato, ilustran este problema (Alcocer y colaboradores, 2000). La agricultura, actividad preponderante hoy en día, ha eliminado prácticamente la vegetación natural de la cuenca. Evidencia histórica (paleolimnológica) indica que la zona comenzó a ser modificada hace unos mil 400 años, cuando se introdujo el cultivo del maíz. La adopción de las prácticas de cultivo europeas, hace alrededor de mil

100 años, intensificaron la alteración de la región. La falta de recursos superficiales conllevó la reducción del manto acuífero hasta en 2.5 metros al año. Hoy día, los lagos San Nicolás de Parangueo y Cíntora están secos, mientras que Rincón de Parangueo y La Alberca se encuentran muy cerca de estarlo. El nivel original de estos dos últimos lagos era de alrededor de 50 metros de profundidad. Para 1985, La Alberca tenía 35 metros, 10 metros en 1995 y sólo algunos centímetros en 2002. Por otro lado, Rincón de Parangueo tenía 7.5 metros en 1995, y casi está seco al presente.

Además de los requerimientos de agua para la agricultura, no debe olvidarse que también es una fuente importante de contaminantes a través de la aplicación de fertilizantes y pesticidas. El drenaje agrícola acarrea fertilizantes que propician la eutrofización (el crecimiento desmedido de microorganismos acuáticos, con el consecuente agotamiento de oxígeno) de lagos y embalses, mientras que los pesticidas resultan tóxicos para los humanos y otros organismos.

Limnología y política

Históricamente, las razones del gobierno para tomar decisiones acerca del uso de las aguas continentales y su manejo responden más bien a presiones sociales y políticas. La comunidad científica rara vez es consultada, debido a la falta de reconocimiento que existe del papel que juega la ciencia, en este caso la limnología (el estudio de cuerpos de aguas dulce), en el desarrollo del país.

Existen algunas excepciones cuando, por ejemplo, ocurren desastres naturales. Éste fue el caso de la Presa de Silva, en Guanajuato, en la que se presentó la muerte masiva de alrededor de 25 mil aves acuáticas a fines de 1994 e inicios de 1995. En respuesta a las presiones sociales, ecológicas y políticas (un buen número de las aves muertas se encontraban migrando desde Canadá y los Estados Unidos hacia México), se inició un estudio profundo



con la intervención de numerosos científicos. Desafortunadamente no existía información limnológica previa acerca de la Presa de Silva que ayudara a discernir las causas de la muerte. En conclusión, no se pudo determinar con certeza la causa de la muerte de las aves.

El gobierno gasta enormes cantidades en actividades de manejo ineficiente de agua y con pobre fundamento científico. Para la toma de decisiones, el gobierno comúnmente depende de estudios a corto plazo que no pueden distinguir entre los cambios naturales y los inducidos por el ser humano. El caso del lago de Pátzcuaro es un buen ejemplo.

La construcción de canales artificiales en el extremo sur del lago de Pátzcuaro inició a principios de la década de 1980 y concluyó en el 2000. La idea de esta obra fue prevenir que los sedimentos acarreados de la cuenca, producto de la deforestación, entraran al lago. La decisión para realizar esta enorme inversión (estimada en un millón de dólares por año, sólo en costos de operación) se basó en la premisa de que la acumulación de sedimentos era el agente responsable de la reducción de la profundidad del lago.

Pero estudios recientes (Bernal-Brooks y colaboradores, 2002; Gómez-Tagle Chávez y colaboradores, 2002) indicaron que la reducción del área superficial y el volumen del lago están relacionadas con un clima más seco a escala regional, prevaleciente en los últimos 20 años, y no con la sedimentación. Chapala, en Jalisco, y Cuitzeo y Zirahuén, en Michoacán, todos ellos localizados en diferentes cuencas, muestran una tendencia de reducción similar, hecho sintomático de la sensibilidad climática que muestran los lagos de la zona central del país.

Conclusiones

Muchos de los cuerpos acuáticos continentales de México son de gran importancia para la vida silvestre, la biodiversidad y el ecoturismo. Asimismo son esenciales para las diversas actividades humanas, incluidas la agricultura, el desarrollo industrial y urbano y las economías locales. Con el fin de poder garantizar su uso sustentable, es urgente que se dirijan recursos y esfuerzos considerables a su investigación científica y a programas de conservación. Finalmente, es de primordial importancia considerar que las acciones que se implementen sean aplicadas a escala regional (no local, municipal ni estatal, sino a nivel de cuenca hidrológica).

Bibliografía

- Alcocer, J. (2002), "Surface water. Major challenges in Mexico", *Lakeline*, 22, 28-31.
- Alcocer, J., E. Escobar y A. Lugo (2000), "Water use (and abuse) and its effects on the crater-lakes of Valle de Santiago, Mexico", *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 5, 145-149.
- Bernal-Brooks, F. W., A. Gómez-Tagle Rojas y J. Alcocer (2002), "Lake Patzcuaro (Mexico): A controversy about the ecosystem water regime approached by field references, climatic variables and GIS", *Hydrobiologia*, 467, 187-197.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 2005. *Síntesis de las estadísticas del agua en México, 2005*, México, CNA.
- Gómez-Tagle, A., F. W. Bernal-Brooks y J. Alcocer (2002), "Sensitivity of Mexican water bodies to regional climatic change: Three study alternatives applied to remote sensed data of Lake Patzcuaro", *Hydrobiologia*, 467, 169-175.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (1989), *Datos básicos de la geografía de México*, México, INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (1995), *Estadísticas del medio ambiente*, México, INEGI.
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) (1993), *México. Informe de la situación actual general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1991-1992*, México, Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos) (1976), *Atlas del agua de la República Mexicana*, México, SRH.
- Tamayo, J. L. (1962), *Geografía general de México II*, México, Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas.

Javier Alcocer es jefe del proyecto de investigación de limnología tropical (PILT) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha sido vicepresidente y presidente de la Asociación Mexicana de Limnología. A. C. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), de la Red del Agua de la AMC y del Sistema Nacional de Investigadores. Fue vicepresidente y es *member at large* de la International Society for SALT Lake Research (ISSLR). Su área de investigación es la limnología.

jalcocer@servidor.unam.mx