

## 4 Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos

---

AUTORAS RESPONSABLES: Patricia Balvanera • Helena Cotler

COAUTORES: Octavio Aburto Oropeza • Abigail Aguilar Contreras • Martha Aguilera Peña • Martín Aluja • Adolfo Andrade Cetto • Inés Arroyo Quiroz • Lorena Ashworth • Marta Astier • Patricia Ávila • Daniel Bitrán Bitrán • Teodiceldo Camargo • Julio Campo • Beatriz Cárdenas González • Alejandro Casas • Francisco Díaz-Fleischer • Jorge D. Etchevers • Adrián Ghillardi • Everardo González-Padilla • Alejandro Guevara • Elena Lazos • Catalina López Sagástegui • Raquel López Sagástegui • Julia Martínez • Omar Masera • Marisa Mazari • Alejandro Nadal • Diego Pérez-Salicrup • Ramón Pérez-Gil Salcido • Mauricio Quesada • Julieta Ramos-Elorduy • Alejandro Robles González • Hipólito Rodríguez • Juan Rull • Gerardo Suzán • Carlos H. Vergara • Santiago Xolalpa Molina • Luis Zambrano • Alba Zarco

AUTORES DE RECUADROS: 4.1, Marta Astier • 4.2, Adolfo Andrade Cetto • 4.3, Marisa Mazari, Alba Zarco • 4.4, Martín Aluja, Juan Rull, Martha Aguilera Peña, Francisco Díaz-Fleischer • 4.5, Alejandro Casas • 4.6, Jorge D. Etchevers, Julio Campo • 4.7, Alejandro Guevara

REVISORES: Bernardus B.H.J. de Jong • Luis E. García Barrios • Carlos Muñoz

---

### CONTENIDO

4.1 Introducción / 187

4.1.1 Contexto / 187

4.2 Tipos de servicios ecosistémicos / 188

4.3 Oferta temporal y espacial de los servicios ecosistémicos en México / 191

4.3.1 Servicios de provisión / 191

• Alimentos derivados de la agricultura / 191

• Alimentos derivados de la ganadería / 194

• Alimentos derivados de la pesca / 195

• Alimentos derivados de la acuicultura / 198

• Madera / 198

• Leña / 201

• Recursos diversos / 201

• Agua (cantidad y calidad, que incluye servicios de provisión, regulación y soporte) / 205

4.3.2 Servicios de regulación / 213

• Regulación asociada a la biodiversidad / 213

• Regulación de plagas, de vectores de enfermedades y de la polinización / 213

• Regulación de la erosión del suelo / 217

• Regulación del clima y de la calidad del aire / 221

• Regulación de la respuesta a eventos naturales extremos / 222 ▶

---

Balvanera, P., H. Cotler et al. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 185-245.

- 4.3.3 Servicios culturales / 223
- 4.4 Relaciones complejas entre servicios / 227
- 4.5 El papel de las políticas en la capacidad presente y futura de los ecosistemas para proporcionar servicios ecosistémicos / 233
- 4.6 Hacia el mantenimiento de los ecosistemas y sus servicios / 235
- 4.7 Conclusión / 236

Referencias / 236

## **Recuadros**

- Recuadro 4.1. *Servicios de provisión, regulación y culturales que proporcionan los agroecosistemas de México: el caso del maíz en la cuenca del Lago de Pátzcuaro / 192*
- Recuadro 4.2. *Recursos diversos de México y sus usos potenciales: el caso de plantas medicinales y el desarrollo de medicamentos / 203*
- Recuadro 4.3. *Cambios temporales en la capacidad de regulación de la calidad del agua: el caso de la cuenca alta del Río Lerma / 211*
- Recuadro 4.4. *La regulación biológica de plagas: el caso de la mosca de la fruta / 215*
- Recuadro 4.5. *La regulación de la polinización: un servicio ecosistémico para la agricultura y su relación con el mantenimiento de la biodiversidad / 216*
- Recuadro 4.6. *Indicadores de la capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos o de impactos severos a esta capacidad: el caso de la regulación del mantenimiento de la fertilidad del suelo / 218*
- Recuadro 4.7. *Valoración de servicios ecosistémicos: el caso de los manglares / 225*

## Resumen

La sociedad mexicana interactúa de forma dinámica con los ecosistemas que se presentan en nuestro territorio, lo que da lugar a distintos beneficios o servicios ecosistémicos. Estos servicios incluyen los de provisión, también llamados bienes; los de regulación, que modulan las condiciones en las cuales habitamos y realizamos nuestras actividades productivas; los culturales, que pueden ser tangibles o intangibles pero que dependen fuertemente del contexto sociocultural, y los de sustento, que son los procesos ecológicos básicos. En este capítulo se hace una síntesis de la información disponible hasta el momento sobre la capacidad de los ecosistemas mexicanos para proveer los primeros tres tipos de servicios, haciendo hincapié en los patrones temporales (es decir, aumento o disminución de la capacidad de provisión de los servicios) y espaciales (diferencias entre distintas zonas del país en cuanto a la capacidad de provisión). Los servicios de provisión analizados son: alimentos derivados de la agricultura, alimentos derivados de la ganadería, alimentos derivados de la pesca, alimentos derivados de la acuicultura, madera, leña, recursos diversos (con énfasis en productos forestales no maderables, plantas vasculares medicinales, vertebrados silvestres útiles e insectos comestibles y medicinales). Los servicios de regulación incluyen agua (cantidad y calidad), regulación asociada a la biodiversidad (con énfasis en la regulación de plagas, de vectores de enfermedades y de la polinización), regulación de la erosión del suelo, regulación del clima y de la calidad del aire, y regulación de la respuesta a

eventos naturales extremos. Analizamos posteriormente las interacciones complejas de servicios. Para ilustrar esto mostramos las consecuencias negativas de la expansión de las fronteras agrícola y ganadera, y de la intensificación de la agricultura sobre varios servicios de regulación; analizamos además algunas de las consecuencias del fomento a la provisión de alimentos derivados de la pesca y la agricultura, y de la extracción de productos forestales sobre los servicios de regulación; finalmente mostramos la importancia de los aspectos socioculturales en el manejo de los ecosistemas. Después analizamos cómo las políticas preponderantes han promovido la protección de algunos servicios asociados a la conservación de la biodiversidad, cómo han abordado los aspectos ligados con la regulación climática y la regulación de la respuesta a eventos extremos, pero también cómo han promovido la obtención de servicios de provisión a costa de los servicios de regulación. Concluimos que si bien es necesario cubrir las necesidades básicas de la población, también es fundamental asegurar la sustentabilidad de esta provisión así como el mantenimiento (o recuperación) de los servicios de regulación y culturales. Para lograrlo es necesario contar con mayor información al respecto, establecer políticas de gobierno con una visión transversal que incluya los distintos servicios ecosistémicos y sus interacciones, así como asegurar un diálogo incluyente entre los distintos sectores de la población.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

### 4.1.1 Contexto

Los seres humanos obtenemos numerosos beneficios de los sistemas naturales que nos rodean, así como de la biodiversidad que estos albergan. Hemos transformado algunos de ellos en sistemas de producción intensiva de bienes; por ejemplo, bosques, selvas y pastizales naturales han sido convertidos en sistemas agropecuarios para la producción de alimentos. Estos cambios modifican la capacidad que tienen los ecosistemas para brindarnos otros beneficios de los cuales no siempre nos percatamos; hemos intercambiado la elevada contribución de los bosques a la regulación del clima o al control de la erosión por la reducida contribución que hacen los sistemas agropecuarios. Así, en la búsqueda de satisfactores a nuestras necesidades hemos minado la capacidad que

tienen los sistemas naturales para mejorar la calidad de nuestras vidas. El balance es complejo: hemos privilegiado la posibilidad de obtener ciertos tipos de beneficios a costa de otros; hemos favorecido los satisfactores a corto plazo a costa de aquellos a mediano y largo plazo; hemos enfatizado la obtención de bienes en nuestro entorno inmediato a costa de consecuencias en nuestro alrededor. Esta situación es común en todo el planeta. Sin embargo, en México se presenta un caso particular donde se combinan, por un lado, la elevada diversidad biológica y cultural de nuestro país, y por otro, un profundo deterioro de los sistemas que albergan esta biodiversidad, con consecuencias negativas para la población humana.

Ante esa problemática, en este capítulo pretendemos mostrar la situación actual de nuestro país en cuanto a su capacidad para beneficiar actualmente o en el futuro a las poblaciones humanas. Utilizamos el término servicios ecosistémicos para abarcar todos los beneficios que las

poblaciones humanas obtenemos de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment 2005). El enfoque que utilizamos abarca todo el ecosistema, el cual es la unidad funcional básica de la naturaleza, en donde interactúan componentes bióticos (plantas, animales, microorganismos) y abióticos (energía, agua, suelos, nutrientes, atmósfera). En este capítulo entendemos a las sociedades humanas como sistemas complejos que interactúan de forma dinámica con estos ecosistemas, siendo el ser humano una de las especies que habitan en ellos. En este capítulo ponemos particular énfasis en los aspectos ecológicos asociados a la provisión de los distintos servicios; otros capítulos en esta obra abordarán con mayor detalle los aspectos económicos, sociales y políticos asociados al manejo de los ecosistemas mexicanos.

Hemos dividido nuestro capítulo en cinco apartados: 1] una introducción, que incluye un conjunto de definiciones acerca de los servicios ecosistémicos y los componentes de los sistemas naturales involucrados en estos; 2] una perspectiva de las tendencias espaciales y temporales sobre la capacidad de los ecosistemas mexicanos para proveer servicios ecosistémicos; 3] una discusión de las relaciones entre servicios, 4] una discusión sobre el papel de las políticas públicas al promover cambios en la capacidad presente y futura de los ecosistemas mexicanos para brindar los distintos servicios, y 5] una discusión de perspectivas para lograr el mantenimiento futuro de los servicios ecosistémicos en nuestro país.

#### 4.2 TIPOS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Existen varias formas de clasificar los servicios ecosistémicos. La más común los divide en bienes y servicios, para destacar la diferencia entre lo que consumimos, que es tangible, y aquello que nos beneficia de manera menos tangible. Sin embargo, esta clasificación no permite un vínculo explícito entre la forma en que se proporcionan los servicios y la forma en que la sociedad se ve favorecida. En este capítulo utilizamos una tipología que nos permite analizar los vínculos entre el bienestar de las poblaciones humanas y los ecosistemas. Esta clasificación fue propuesta por el Millennium Ecosystem Assessment, una iniciativa internacional que sintetizó la información disponible acerca de la estrecha relación entre los ecosistemas y las sociedades humanas (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Los servicios ecosistémicos más fácilmente reconocibles son los de provisión. Se trata de bienes tangibles,

también llamados recursos naturales o bienes; en esta categoría están incluidos los alimentos, el agua, la madera, las fibras. Estos servicios proporcionan el sustento básico de la vida humana; los esfuerzos por asegurar su provisión guían las actividades productivas y económicas (cuadro 4.1).

Otros servicios igualmente fundamentales para el bienestar humano, aunque mucho menos fáciles de reconocer, son los de regulación. En este caso se incluyen procesos ecosistémicos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades productivas. En esta categoría se incluyen la regulación climática, la regulación de los vectores de enfermedades y la regulación de la erosión de los suelos, entre otros.

Los ecosistemas brindan también beneficios que dependen de las percepciones colectivas de los humanos acerca de los ecosistemas y de sus componentes. En este caso se habla de servicios culturales, los cuales pueden ser materiales o no materiales, tangibles o intangibles. Los beneficios espirituales, recreativos o educacionales que brindan los ecosistemas se consideran en esta categoría.

Los servicios de sustento son los procesos ecológicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de servicios de provisión, de regulación y culturales. Entre estos servicios se encuentran la productividad primaria, que es la conversión de energía lumínica en tejido vegetal, y el mantenimiento de la biodiversidad.

La interacción dinámica entre las sociedades humanas y los ecosistemas es determinante del tipo de servicios ecosistémicos que se proporcionan. Las condiciones culturales, económicas y políticas de las sociedades determinan el tipo de decisiones que se toman para manejar los ecosistemas y así promover o afectar (de forma consciente y premeditada o de forma involuntaria) los distintos servicios. A su vez, el flujo de servicios ecosistémicos determina el bienestar humano, y por lo tanto las condiciones de las sociedades humanas; la falta, escasez o distribución desigual de estos servicios pueden ocasionar conflictos sociales o políticos (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

En la presentación de los servicios que proporcionan los ecosistemas mexicanos nos hemos limitado a aquellos para los cuales existe al menos cierto grado de información disponible.

**Cuadro 4.1** Servicios ecosistémicos, beneficios que brindan a las poblaciones humanas y procesos ecosistémicos asociados a estos servicios

Servicio	Importancia para el bienestar humano	Tipo de ecosistema que brinda el servicio	Procesos ecosistémicos involucrados en el servicio	Actividades humanas involucradas en la obtención del servicio
Alimentos derivados de la agricultura	Sustento básico y recursos económicos	Campo agrícola	Productividad primaria: transformación de luz solar en tejido vegetal por medio de la fotosíntesis	Remoción de la cobertura vegetal, uso de insumos químicos, riego, maquinaria o sustitutos orgánicos, introducción de especies, selección o mejoramiento genético
Alimentos derivados de la ganadería		Pastizal, encierros, campo agrícola (complementos alimenticios), matorrales, selvas y bosques	Productividad secundaria/ terciaria: transferencia de energía desde los productores primarios (que realizan la fotosíntesis) hacia niveles tróficos superiores	Cría de ganado en pastizales, encierros o zonas con cobertura vegetal, suplementación alimenticia, introducción de especies, selección o mejoramiento genético
Alimentos derivados de la pesca		Océanos, ecosistemas costeros (e.g. lagunas) y ecosistemas acuáticos continentales		Extracción de productos marinos silvestres, manejo del ecosistema
Alimentos derivados de la acuicultura		Cuerpos de agua naturales y artificiales		Introducción de especies, construcción de estanques, establecimiento de granjas, suplementación alimenticia
Madera	Material de construcción y bienestar económico	Bosques y selvas	Productividad primaria	Extracción de individuos de talla y especies comerciales, manejo forestal
Leña	Fuente de energía	Bosques, selvas, matorrales, manglares, desiertos	Productividad primaria	Extracción
Recursos diversos	Usos múltiples (e.g. alimentos, medicinas, materiales de construcción), recursos económicos, importancia cultural (presente o futura)	Todos los ecosistemas del país	Mantenimiento de la biodiversidad y de las poblaciones de especies útiles	Extracción, manejo de especies, manejo de ecosistema
Agua (cantidad)	Sustento básico, actividades productivas (agricultura, industria), funcionamiento de los ecosistemas	Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales, océanos y atmósfera	Interacción entre patrones climáticos, vegetación, suelo y procesos del ciclo hidrológico	Construcción de presas, sistema de riego/alcantarillado, manejo de cuencas
Agua (calidad)	Regulación de concentraciones de contaminantes y organismos nocivos para la salud humana y la del ecosistema	Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales, océanos y atmósfera	Interacciones químicas, físicas y biológicas de ecosistemas acuáticos y terrestres	Reducción en la liberación de contaminantes, mantenimiento de ecosistemas y procesos
Regulación de la biodiversidad	Regulación de casi todos los servicios ecosistémicos	Todos los ecosistemas del país	Interacciones biológicas entre organismos y con los componentes abióticos de los ecosistemas	Mantenimiento de la biodiversidad, manejo de especies individuales, manejo de ecosistemas, introducción de especies

Cuadro 4.1 [concluye]

Servicio	Importancia para el bienestar humano	Tipo de ecosistema que brinda el servicio	Procesos ecosistémicos involucrados en el servicio	Actividades humanas involucradas en la obtención del servicio
Regulación de plagas, de vectores de enfermedades y de la polinización	Regulación de los polinizadores: producción de algunos cultivos comerciales; regulación de plagas y vectores de enfermedades: control biológico de organismos nocivos	Todos los ecosistemas del país	Interacciones biológicas entre organismos y con los componentes abióticos de los ecosistemas: mutualismo (polinización), competencia, depredación, mantenimiento	Mantenimiento de la biodiversidad, manejo de especies individuales, manejo de ecosistemas, introducción de especies
Regulación de la erosión	Mantenimiento del suelo y sus servicios de moderación del ciclo hidrológico, soporte físico para las plantas, retención y disponibilidad de nutrientes, procesamiento de desechos y materia orgánica muerta, mantenimiento de la fertilidad del suelo y regulación de los ciclos de nutrientes	Ecosistemas terrestres del país	Interacciones entre la vegetación y los macro y microorganismos del suelo, que mantienen a este y sus funciones	Mantenimiento de biodiversidad del suelo, de cobertura vegetal y de procesos
Regulación del clima	Mantenimiento de condiciones climáticas adecuadas para la vida humana, sus actividades productivas y la vida en general	Atmósfera y todos los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos	Interacciones entre la atmósfera y sus componentes, y con la tierra y su tipo de cobertura	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y conservación/manejo de cobertura vegetal
Regulación de la calidad del aire	Regulación de concentraciones de contaminantes nocivos para la salud y para la visibilidad	Atmósfera y todos los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos	Interacciones entre la atmósfera y sus componentes, la tierra y su tipo de cobertura, y las actividades productivas	Reducción de emisiones de contaminantes y manejo de cobertura vegetal
Regulación de la respuesta a eventos naturales extremos	Regulación de la respuesta de los sistemas naturales al embate de eventos naturales extremos y sus consecuencias sobre la población humana	Atmósfera y todos los ecosistemas terrestres	Interacciones entre los componentes físicos y bióticos de los ecosistemas y los patrones climáticos	Conservación/manejo de ecosistemas terrestres
Servicios culturales	Seguridad, belleza, espiritualidad, recreación cultural y social para las poblaciones	Todos los ecosistemas del país	Evolución a lo largo del tiempo y del espacio de la interacción entre los humanos y los ecosistemas	Mantenimiento de la biodiversidad y de los ecosistemas del país, mantenimiento del conocimiento y percepciones

Fuentes: Balvanera y Prabhu (2004); Beattie *et al.* (2005); Bravo de Guenni *et al.* (2005); Bruijnzeel (2004); Buchmann y Nabham (1996); Cassman *et al.* (2005); Daily *et al.* (1997); De Groot *et al.* (2005); Díaz *et al.* (2005); Falkenmark (2003); Folke *et al.* (2002); House *et al.* (2005); IEA (2002); Lavelle *et al.* (2005); Lovelock (1979); Panayatou y Ashton (1992); Pauly *et al.* (2005); Sampson *et al.* (2005); Shvidenko *et al.* (2005); Vörösmarty *et al.* (2005); Wood *et al.* (2005).

### 4.3 OFERTA TEMPORAL Y ESPACIAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN MÉXICO

Las características propias y la condición actual de los ecosistemas mexicanos son determinantes del tipo, de la cantidad y de la calidad de los servicios que estos pueden proporcionar a las poblaciones humanas. La evaluación de las condiciones actuales de los ecosistemas mexicanos para brindar distintos servicios ecosistémicos, de los cambios temporales que se han presentado en estos, así como de los contrastes espaciales en nuestro heterogéneo país es indispensable para la adecuada planeación de las necesidades futuras de la población mexicana. A continuación presentamos un primer análisis de estos patrones.

#### 4.3.1 Servicios de provisión

##### Alimentos derivados de la agricultura

El uso y la transformación de ecosistemas para obtener alimentos ha sido una actividad humana preponderante (cuadro 4.1). La obtención de alimentos derivados de la agricultura depende de la productividad primaria, es decir, la transformación de energía lumínica en tejido vegetal. Además, los ecosistemas naturales se han transformado en campos de cultivo con una o pocas especies; se han domesticado las especies de mayor utilidad, seleccionándose variedades con distintas características, e incluso modificando genéticamente los organismos para conferirles las características deseadas; además, se han utilizado insumos externos, como fertilizantes y plaguicidas, así como maquinaria para maximizar la producción (Wood *et al.* 2005).

La elevada diversidad biológica y cultural de México contribuyó a que un gran número de plantas silvestres fueran domesticadas; nuestro país es uno de los principales centros de origen de la agricultura. El maíz fue domesticado en México, en la región del Balsas, y hoy día se cuenta todavía con una gran diversidad de parientes silvestres y de variedades de maíz (MacNeish y Eubanks 2000). Los sistemas tradicionales de producción de maíz incluyen distintas variedades que se acoplan a diferentes condiciones climáticas, edáficas y de manejo; incluyen además una gran diversidad de especies, como frijoles, chiles y calabazas (recuadro 4.1).

Sin embargo, a pesar de esta rica historia y del gran número de plantas nativas cultivadas, solo tres cultivos, maíz, frijol y sorgo (el cual no es nativo de México), cubren 49% de la superficie cultivada del país (Siacon 2005).

El incremento en la producción agrícola depende tanto de la expansión de la frontera agrícola como del aumento en los rendimientos por unidad de superficie. La extensión de la frontera agrícola puede evaluarse por medio de la evolución de la superficie sembrada: en México, esta ha permanecido relativamente estable en los últimos 20 años (alrededor de 23 millones de hectáreas). En cambio, la superficie cultivada per cápita acusó un descenso cercano a 29%, al pasar de 0.339 a 0.240 hectáreas por persona entre 1980 y 2002 (Siacon 2005). Los aumentos en el rendimiento se deben al tipo de tecnología utilizada (maquinaria, insumos químicos, semillas, irrigación y manejo de recursos genéticos por productores tradicionales) y pueden evaluarse a partir del análisis de los rendimientos (toneladas por hectárea). Se observa un ligero aumento en la producción (Fig. 4.1), debido al uso de tecnologías intensivas en insumos y capital en algunas regiones del país. Por ello el volumen de los insumos se incrementó 22% para los plaguicidas y 21% para el consumo de energía eléctrica empleada en el predio, aunque el consumo de fertilizantes a base de fosfatos permaneció constante y el de fertilizantes a base de nitrógeno disminuyó (-5%) (OCDE 2008). Este panorama no es homogéneo a lo largo del país. Las grandes unidades de producción comercial agropecuaria, principalmente en el norte, requieren capital y dependen de la irrigación y de la adquisición de insumos. Las unidades de producción de autosubsistencia, que se encuentran principalmente en el centro y sur del país, producen alimentos básicos como maíz y frijol. En la zona sur existen plantaciones y productores de autosubsistencia de café, caña de azúcar y plátano.

La producción de maíz aumentó de 12 a 19 millones de toneladas entre 1980 y 2002 (Siacon 2005). La superficie sembrada se incrementó en 651 000 hectáreas, mientras que los rendimientos aumentaron de 1.6 a 2.3 toneladas por hectárea. El aumento en la producción se explica fundamentalmente por el incremento en los rendimientos durante el periodo 1980-1988, cuando se difundió con mayor velocidad la tecnología de la llamada Revolución Verde.

En el caso del frijol se observa una situación análoga. La mejoría en los rendimientos es un factor que contribuyó de manera importante al crecimiento en la producción. Sin embargo, el aumento en los rendimientos fue modesto (se pasó de 475 a 660 kg por hectárea). La superficie cultivada se expandió de manera limitada (en tan solo 124 000 hectáreas) (Siacon 2005).

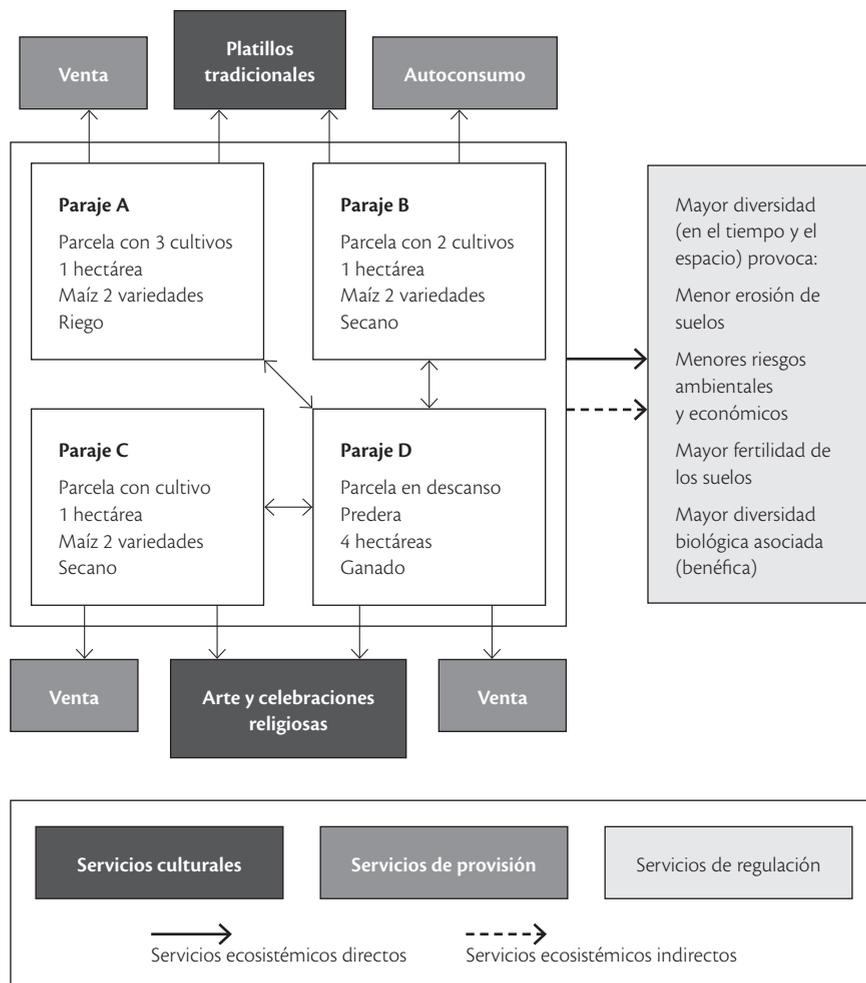
En el caso del sorgo, una especie forrajera, se observa una clara expansión de la superficie cultivada (aumentó

**RECUADRO 4.1** SERVICIOS DE PROVISIÓN, REGULACIÓN Y CULTURALES QUE PROPORCIONAN LOS AGROECOSISTEMAS DE MÉXICO: EL CASO DEL MAÍZ EN LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO

Marta Astier

Los agroecosistemas campesinos del maíz de la cuenca del Lago de Pátzcuaro son unidades de manejo complejas, compuestas por diversos subsistemas, y son multifuncionales (Fig. 1). Estas unidades cubren, por un lado, el objetivo de asegurar el autoconsumo de maíz y la generación de ingresos de los productores. Por otro, satisfacen también fines gastronómicos, festivos y religiosos. Los más de 3 000 productores de maíz de secano, con bajos insumos, produjeron aproximadamente 19 000 toneladas de maíz en el año 2002, sin contabilizar las ventas de ganado u otros subproductos (Sagar-Sedagro 2002).

La diversidad de maíz también representa un servicio de provisión. En un estudio reciente se identificaron siete razas y más de 15 variedades locales reconocidas, sembradas y utilizadas por los agricultores de la región. Este acervo de germoplasma responde a la diversidad agroambiental (o del uso del paisaje), pero también a la diversidad de la demanda de tipos de maíz y de subproductos. Los agricultores trabajan dos, tres y hasta cuatro parcelas ubicadas en parajes diferentes; estos sitios pueden contar con características climáticas y edáficas disímiles y, por lo mismo, los agricultores utilizan en promedio cinco variedades de maíz diferentes (Astier y Barrera-Bassols 2005).



**Figura 1** Esquema del agroecosistema de maíz en la cuenca del Lago de Pátzcuaro y los servicios ecosistémicos que proporciona. Fuente: elaborada por M. Astier.

La diversidad de cultivos y variedades tiene un efecto en la regulación de plagas, enfermedades y condiciones de fertilidad del suelo. En esta región la mayoría de los agricultores cultiva más de tres especies, aunque no es raro encontrar a quienes siembran más de cinco de manera asociada o en rotación; los cultivos más comunes son maíz, frijol, trigo, avena y ebo (*Vicia sativa*). Estudios realizados en la región demuestran que el ebo manejado en esquemas de rotación favorece la presencia de macroentomofauna benéfica (Pérez-Agis 2000), la calidad de los suelos (Astier *et al.* 2006) y la economía de la unidad productiva (Astier y Hollands 2005). Diversificar significa incrementar la oferta de productos cosechados y disminuir el riesgo por pérdidas debido a perturbaciones climáticas o biológicas. A diferencia de los paisajes uniformes de la agricultura más comercializada y moderna, la agricultura de la región de Pátzcuaro comprende un mosaico en donde se intercalan las parcelas cultivadas, las praderas en descanso, los bosques y las huertas frutales.

El cultivo del maíz tiene una gran importancia entre los purépechas, no solo como alimento sino como elemento vital de su cultura. Esto se refleja en el gran significado ceremonial-religioso que ha tenido a lo largo del tiempo, y en la enorme variedad de platillos que se preparan con él (Mapes 1987). Existe una cultura culinaria purépecha muy elaborada, ya que cada platillo requiere un tipo específico de maíz y frecuentemente incluye otros cultivos nativos, como la chíá (*Chenopodium berlandieri*), el tamarindo, el nurite (*Satureja macrosterma*), el frijol y los chiles. El maíz de color (elotes occidentales y elote cónico) se utiliza para pozole, chapatas, jahuacatas, ponteduros, iurichustatas, etc.; el maíz amarillo (cónico), para los elotes cocidos, las tortillas, el pinole y el

ganado; el maíz blanco (chalqueño, purépecha, cónico), para hacer tortillas, atoles, tokeras, gorditas, corundas (Astier y Barrera-Bassols 2005).

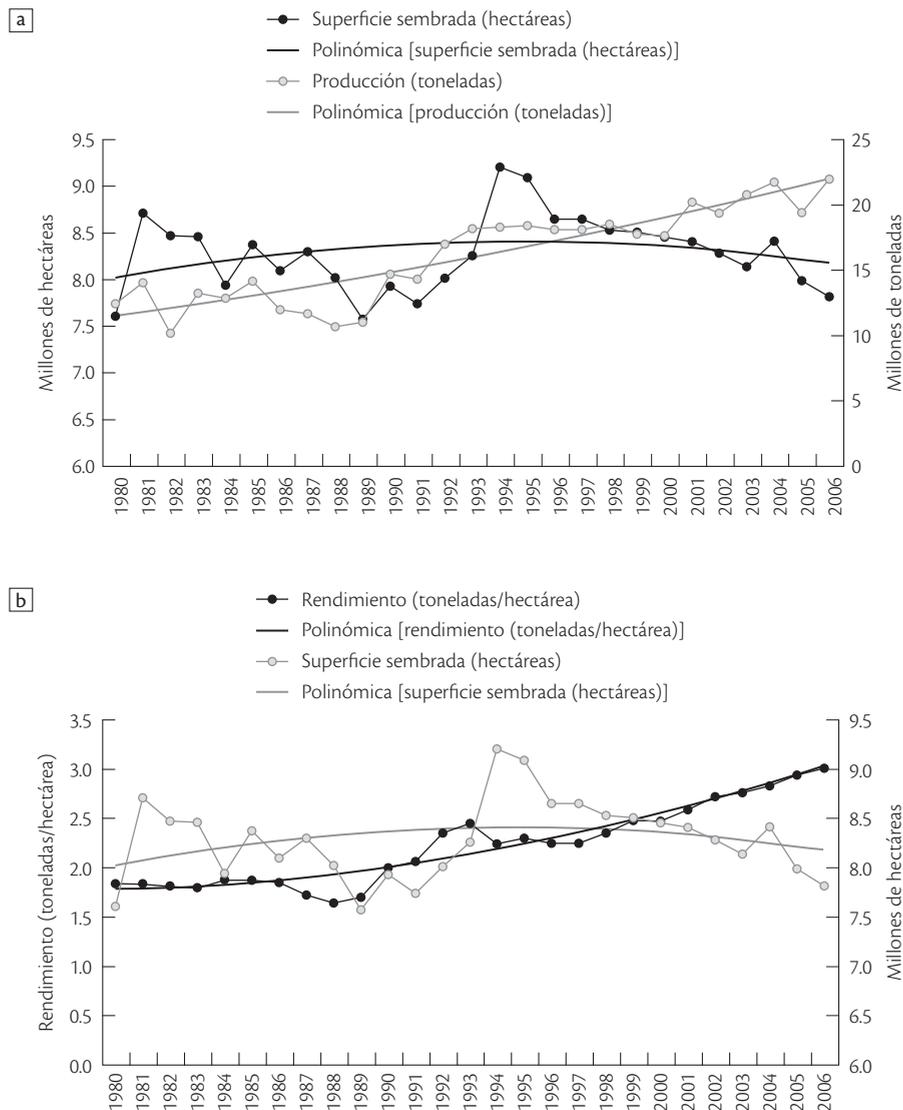
Se tienen además las festividades relacionadas con el maíz que provienen del mundo prehispánico, y que hoy se celebran de acuerdo con el santoral: las ceremonias propiciatorias, como la del Domingo de Ramos (que coincide con la fecha de la siembra), cuando se bendicen las semillas; la de san Isidro Labrador, “el santo de los agricultores”, al que se le adorna con mazorcas de maíz de todos los tipos, y la Fiesta de Corpus Christi o “fiesta de las aguas”, en la que se piden lluvias abundantes. También están las ceremonias del maíz nuevo, en las que se ofrecen los primeros frutos, y las de agradecimiento, al finalizar la cosecha (Barrera-Bassols 2003; Mapes 1987). Cada ceremonia religiosa viene acompañada de un platillo típico especial o de una ofrenda con maíz.

Por estas razones, los sistemas campesinos relacionados con el maíz ofrecen un legado de germoplasma y conocimientos locales. Este legado, sin embargo, además de no estar valorado en el mercado, se encuentra amenazado; hay un abandono acelerado de los sistemas agrícolas campesinos; las prácticas de manejo beneficiosas se empiezan a perder y existe un creciente aumento de la entrada de maíz híbrido procedente de otras regiones. Se requiere una política que estimule esquemas sustentables para los diferentes “momentos” de este sistema alimenticio: producción, distribución, procesamiento y consumo. En otras palabras, se debe premiar la diversidad genética, la oferta de productos sanos, los servicios de regulación, la gastronomía tradicional y la continuación de una identidad cultural.

en más de 358 000 hectáreas); en cambio, los rendimientos cayeron de 2.8 a 2.5 toneladas por hectárea (Siacon 2005). Esto puede significar que la expansión de la superficie cultivada se hizo en tierras de menor calidad.

Puede verse un incremento ligero en la producción y una tendencia al mantenimiento de la superficie cultivada para los principales granos y oleaginosas. Cuando se analizan las tendencias per cápita se observa que la producción de granos básicos por habitante ha permanecido constante en la última década (CEPAL 2006). El balance entre oferta y demanda de granos básicos es negativo: los ecosistemas mexicanos transformados para la actividad agrícola solo satisfacen alrededor de 65% del consumo, por lo que el resto de la demanda se satisface por medio de la importación.

Existen varias alternativas, cada una asociada a costos y beneficios particulares. Para satisfacer el déficit actual, o por lo menos la creciente demanda de alimentos asociada al crecimiento poblacional, la expansión de la frontera agrícola solo podrá darse en terrenos no aptos para la agricultura (con bajos rendimientos y elevados costos ambientales), y a pesar de una estabilidad en la superficie agrícola del país se constatan severos deterioros en estos, tanto en zonas montañosas, por efectos de la erosión, como por el uso excesivo de riego y agroquímicos en zonas planas (OCDE 2008). Los sistemas de producción agrícola intensiva presentan actualmente rendimientos elevados, dependientes de usos intensivos de plaguicidas, fertilizantes y herbicidas. Podrían darse aumentos en la productividad por unidad de superficie mediante la



**Figura 4.1** Tendencias temporales de la producción de alimentos derivados de la agricultura en México entre 1980 y 2006: **(a)** expansión de la frontera extensiva: superficie sembrada y producción (maíz, frijol y sorgo), así como un resumen de la tendencia polinómica, y **(b)** expansión de las fronteras extensiva e intensiva: rendimientos y superficie sembrada.

Fuente: Siacon (2005).

adopción y difusión de tecnologías apropiadas y sostenibles, que permitan reducir o controlar los impactos ambientales de la intensificación para los productores que trabajan en condiciones adversas (baja calidad de sus tierras, pendientes pronunciadas de sus parcelas, elevados riesgos de sequía, lluvias torrenciales, heladas tempranas o plagas). La promoción y el mantenimiento de sistemas diversos de producción, en el contexto de un uso diverso de distintas unidades del paisaje, permitirá diversificar los productos obtenidos mientras se maximiza

el mantenimiento de la biodiversidad, asegurando la sustentabilidad ecológica y social de estos sistemas.

#### Alimentos derivados de la ganadería

La producción primaria y su transferencia al siguiente nivel trófico, el de los herbívoros, sustentan la producción de alimentos derivados de la ganadería (cuadro 4.1). Los productos derivados de esta actividad satisfacen las necesidades proteicas de un porcentaje creciente, aun-

que limitado, de la población. Su producción depende de la transformación de ecosistemas en pastizales, de la cría de animales en encierros a partir de productos derivados de campos de cultivo o del pastoreo en ecosistemas naturales, además de la selección de variedades y la manipulación genética (Wood *et al.* 2005).

Hoy día los ecosistemas transformados para la producción ganadera bovina son el uso del suelo más extendido en todo el territorio. De hecho, la transformación ganadera es el principal factor asociado al cambio de uso del suelo del país (Semarnat y PNUD 2005); cerca de 110 millones de hectáreas, en su mayoría en zonas áridas y semiáridas, se utilizan para ganadería de forma permanente o estacional (SIAP-Sagarpa 2001). De estas, 107.8 millones de hectáreas corresponden a praderas, pastizales y matorrales, y más de 2 millones son superficies agrícolas para cultivo de forrajes para animales (granos forrajeros como el sorgo, forraje de corte y oleaginosas).

En los trópicos se ubica solo 23.4% del total nacional de la superficie ganadera (25.7 millones de hectáreas) (Villegas *et al.* 2001), sin embargo, contribuyen con 62% de la producción total nacional de la biomasa forrajera. En los trópicos hay un uso reducido de cultivos forrajeros en apoyo a los agostaderos y praderas; en cambio, en el norte y el centro del país se produce 44% de los cultivos forrajeros, que a su vez producen alimentos de alta calidad y de alto rendimiento para intensificar los sistemas de producción bovina y en particular de leche (Villegas *et al.* 2001). La población actual de vacunos en México es cercana a 31 millones de cabezas, lo que representa una proporción aproximada de 0.31 reses por persona; de estas, casi 17 millones se localizan en regiones tropicales (SIAP-Sagarpa 2001).

En la década de los setenta la ganadería mostró un crecimiento acelerado; en los ochenta la producción animal se estancó, e incluso se observaron reducciones; en los noventa se reactivó y volvió a crecer la producción de carne y leche de bovino (Fig. 4.2). La superficie ganadera en los trópicos no mostró crecimiento durante la década de los ochenta, y durante los noventa su crecimiento fue por debajo de 0.5% anual; el resto del país mostró una tasa negativa de 1980 a 1994 (Cotecoca 1994), aunque tendió a recuperarse solo después del año 2000. Sin embargo, la producción de carne y la de leche (Fig. 4.2b) han aumentado significativamente; esto se debe sobre todo a la intensificación de esta producción mediante el uso de corrales de engorda y suplementos en su alimentación, especialmente en el norte del país. Como resultado, el rendimiento de carne de res en canal por cabeza en

promedio se ha incrementado en el país; en el norte el aumento ha sido mayor (E. González-Padilla, com. pers.). En este proceso, los grandes productores y las cooperativas con sentido empresarial tuvieron mayor capacidad de intensificación que los pequeños productores familiares.

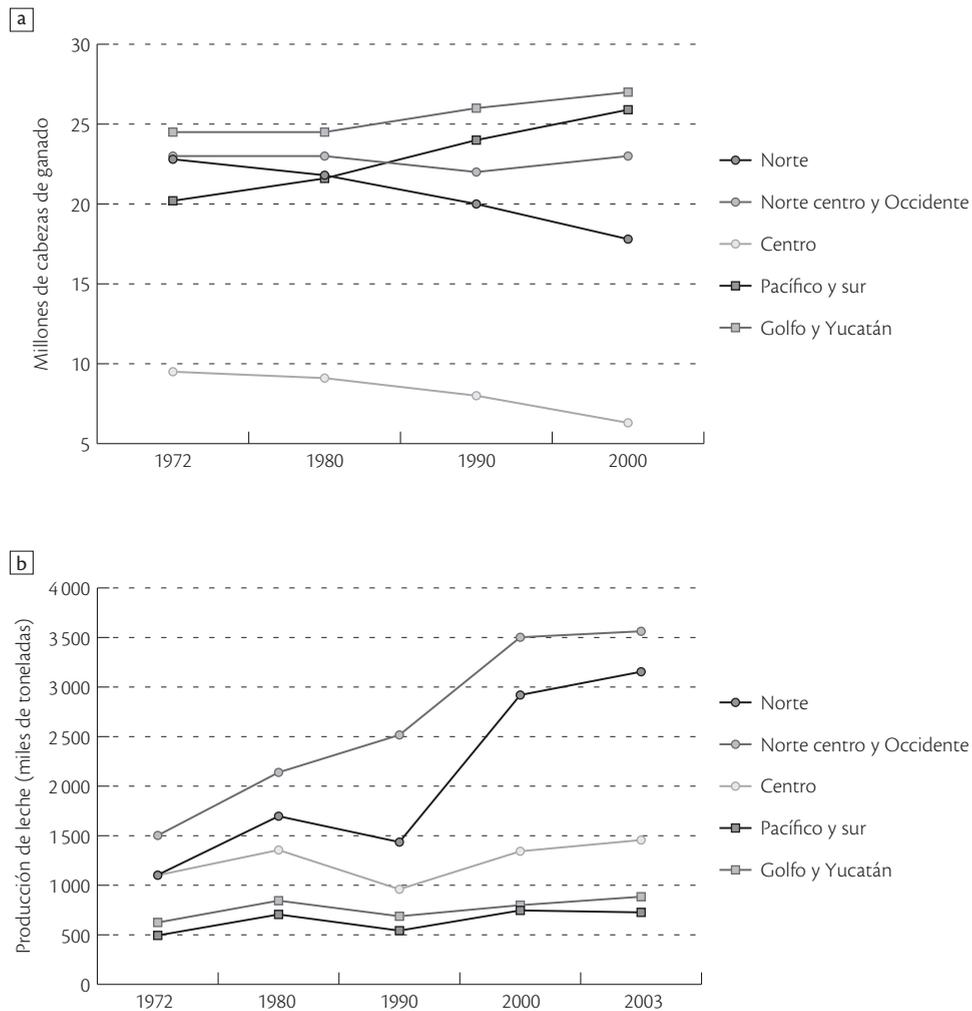
Al considerar las tendencias per cápita (INEGI 2005b), la producción de leche se mantuvo en alrededor de 250 ml de leche/persona al día entre 1972 y 2000. En cambio, la producción de carne de res osciló en cerca de 40 g de carne/persona al día. Otras actividades ganaderas contribuyen con 63 g de carne de pollo/persona al día, 30 g de carne de cerdo y 2.5 g de carne de ovino y de caprino en el ámbito nacional (Siacon 2005; E. González-Padilla, com. pers.).

### Alimentos derivados de la pesca

Los océanos y mares proporcionan una gran variedad de servicios ecosistémicos que incluyen el mantenimiento de una elevada biodiversidad, la regulación de los ciclos de nutrientes, del clima y de la calidad del aire, así como bienestar espiritual y esparcimiento (Pauly *et al.* 2005). En particular, la producción de alimentos derivados de la pesca, tanto para humanos como para el ganado, contribuye significativamente a la satisfacción de necesidades básicas de las poblaciones, así como a su comercio (Wood *et al.* 2005). La obtención de estos alimentos se basa en la cosecha de animales silvestres, que dependen de la transferencia de energía entre los distintos niveles tróficos (cuadro 4.1). Los alimentos derivados de la pesca también pueden provenir de ecosistemas acuáticos continentales, pero este componente está poco documentado y no será abordado aquí.

Los ecosistemas marinos mexicanos han proporcionado entre 1.2 y 1.4 millones de toneladas de productos pesqueros durante las últimas tres décadas (Conapesca 2003). El 76% de los productos pesqueros se utiliza para el consumo humano directo y 23% para consumo humano indirecto, y menos de 1% es para uso industrial (Conapesca 2003). La Carta Nacional Pesquera (Conapesca 2000) documenta la existencia de 589 especies pesqueras que se comercian en el país, aunque las 12 principales pesquerías se han basado en alrededor de 112 especies (Conapesca 2003).

La capacidad de los ecosistemas marinos para proveer alimentos derivados de la pesca está disminuyendo (Fig. 4.3). Esta disminución se debe a la sobrepesca, al deterioro en la salud de ecosistemas marinos esenciales

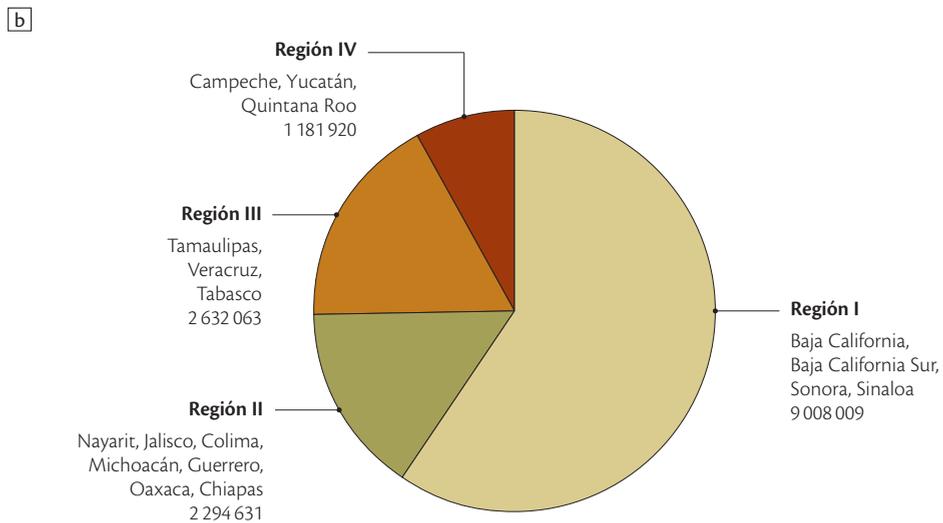
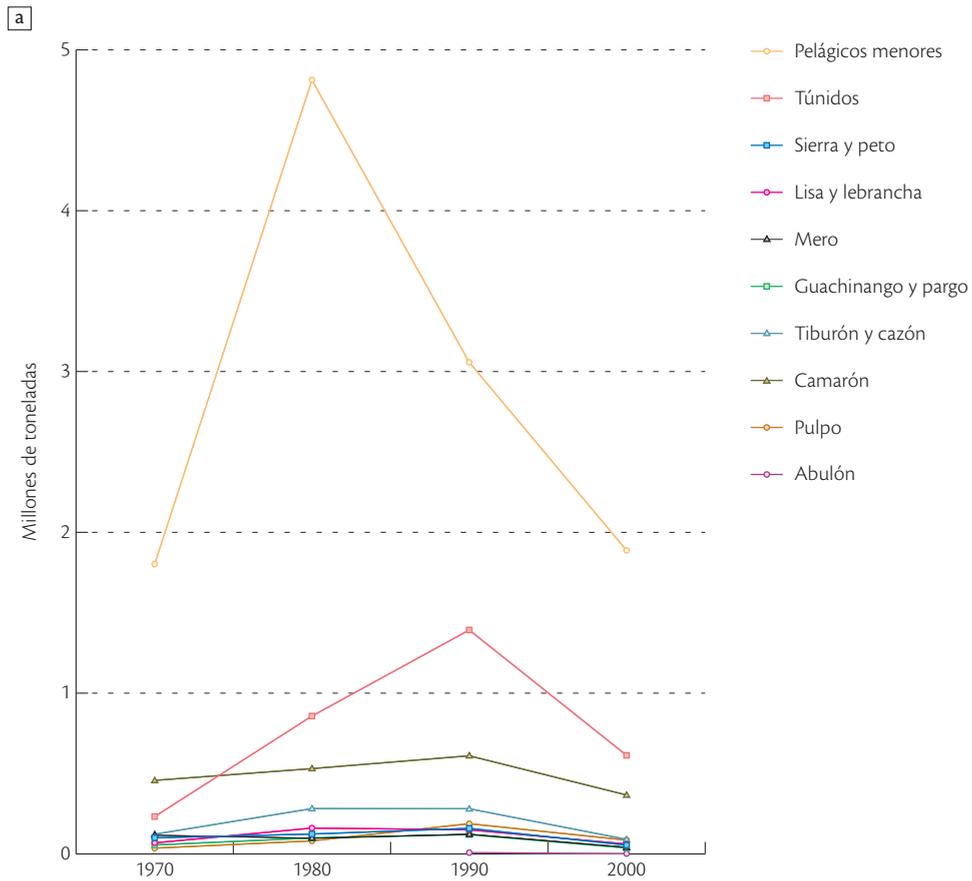


**Figura 4.2** Tendencias temporales y espaciales de la producción de alimentos derivados de la ganadería en México: (a) inventarios de bovinos, y (b) producción de leche. Fuentes: Sagarpa (2005); SIAP-Sagarpa (2001, 2005).

para completar el ciclo de vida, a la introducción de especies y probablemente al cambio climático (Nadal 1994; Helfman *et al.* 1997; Espinoza-Tenorio *et al.* 2004; Wood *et al.* 2005; UNEP 2006). Los ejemplos más claros de colapsos de pesquerías o desaparición de especies pesqueras en México incluyen el agotamiento de las poblaciones de tortugas marinas, totoaba, abulón y mero durante las décadas de los setenta y ochenta (Fig. 4.3). Las pesquerías de sardina y anchoveta, de importancia comercial fundamental, presentan claros signos de colapso a partir de los años ochenta (Conapesca 2003). Además, lagunas costeras enteras, como la Laguna Chacahua en Oaxaca, se han colapsado por efecto de la pesca, por la saturación del sistema ocasionada por los desechos de la acuicultura y por la alteración de la calidad del agua por desechos de

origen urbano, industrial o agrícola (Schoijet 2002; Ortiz-Lozano *et al.* 2005). Sin embargo, existen algunos casos de especies cuyas capturas van en aumento, como son los pericos (*Scarus compressus* y *S. ghobban*) y cochitos (*Balistes polylepis*), aunque probablemente estas tendencias se deban a un mayor esfuerzo pesquero, mas no a una recuperación de las poblaciones (Sala *et al.* 2004).

Al considerar los datos de producción per cápita (INEGI 2005b), la situación es aún más crítica. La producción de alimentos derivados de la pesca se redujo de 170 g/persona al día en 1970 a 91 g en 2000, con un pico en 1980 (288 g/persona al día). Además, a partir de la década de los ochenta se canaliza 20% de esta producción a la transformación industrial en alimentos balanceados para uso avícola y acuícola (Conapesca-Sagarpa



**Figura 4.3** Tendencias temporales y espaciales de la producción de alimentos derivados de la pesca en México: **(a)** volumen de la producción pesquera en peso vivo por especies principales entre 1970 y 2000, y **(b)** volumen de producción pesquera en peso desembarcado por región. Fuentes: Conapesca-Sagarpa (2003); Sagarpa (2001).

2003). Hoy día, solo 15% de las pesquerías cuenta con un desarrollo potencial, 65% se encuentra en su máximo rendimiento sostenible y 20% han sido deterioradas (Conapesca 2003).

La productividad pesquera del país se comporta de forma distinta en las cuatro regiones pesqueras (Fig. 4.3b): Región I (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa); Región II (Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas); Región III (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco); Región IV (Campeche, Yucatán, Quintana Roo) (Nadal 1994; Conapesca-Sagarpa 2003; Conapesca 2003). La región del Golfo de California es hoy día la más productiva a pesar de que depende de dos (sardina y anchoveta) de las cuatro especies de importancia para la región (incluyendo al atún y el camarón), que ya presentan signos claros de colapso poblacional. La pesca de camarón es la de mayor valor económico, pero esta siendo claramente sobreexplotada; el tamaño de los individuos cosechados es cada vez menor, y los viajes de pesca son cada día más duraderos. Además, las redes de arrastre utilizadas para la pesca de esta especie equivalen a arrancar el fondo marino, lo que trae consigo consecuencias negativas severas sobre los ecosistemas marinos. El atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) es muy abundante en el Pacífico central oriental por las surgencias marinas que hacen confluir nutrientes y por una cadena trófica muy productiva entre Ensenada y Mazatlán. Sin embargo, su estrecha asociación con el delfín ha provocado la mortalidad incidental de delfines durante la pesca del atún aleta amarilla. La mayor parte de la pesca de escama (guachinango, robalo, mero, etc.) proviene de la sonda de Campeche, donde también hay evidencia de sobreexplotación. La flota pesquera es muy numerosa, multiespecífica y de difícil regulación; sus efectos sobre fondos rocosos y arrecifes coralinos son difíciles de medir (Caso *et al.* 2003; Rivera Arriaga *et al.* 2004).

### Alimentos derivados de la acuicultura

La acuicultura se distingue de la pesca porque involucra actividades de manejo para la cosecha de estos alimentos (Wood *et al.* 2005). El manejo puede incluir la introducción de especies, la modificación física del ecosistema o la creación de estanques u otros ecosistemas para su cría y la suplementación alimenticia con productos agrícolas o derivados de la pesca (cuadro 4.1).

La disminución en la disponibilidad de recursos pesqueros, aunada a la creciente demanda de proteína animal por parte de la población en zonas rurales y urbanas,

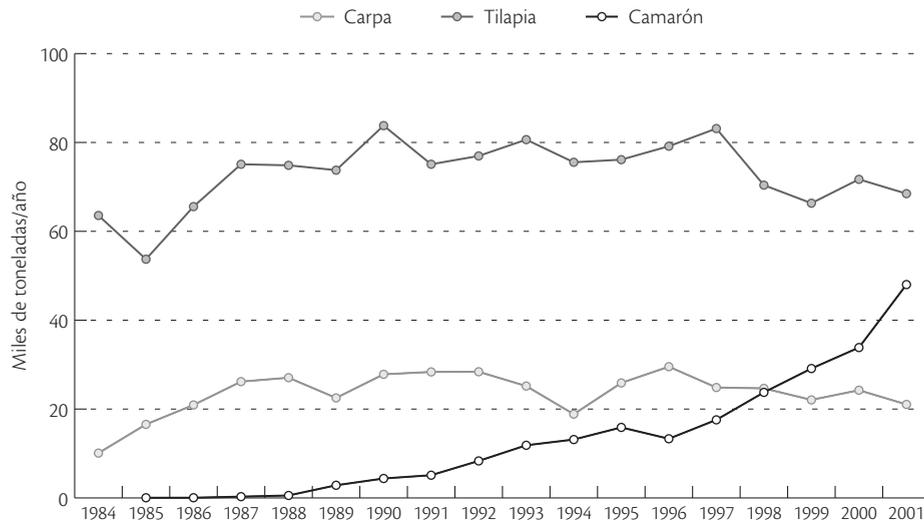
ha incentivado el crecimiento de la acuicultura en México en los últimos años. Se ha proyectado un potencial productivo superior a las 800 000 toneladas anuales (Palomo y Arriaga 1993) y se han identificado 136 especies que pueden ser cultivadas, de las cuales se aprovechan 57; se cuenta con dominio tecnológico para 13 especies (incluyendo peces, crustáceos, moluscos, anfibios, reptiles y algas), con las cuales se pueden practicar cultivos de ciclo completo (Palomo y Arriaga 1993).

A pesar de la elevada riqueza de especies de peces en los cuerpos de agua del país, la acuicultura se basa fundamentalmente en dos especies: la carpa (introducida de China) y la tilapia (introducida de África). En los cuerpos de agua más fríos se desarrollan las carpas, mientras que en los más cercanos a las costas prosperan las tilapias (Zambrano *et al.* 2006). Se cuenta con la tecnología para que su cultivo sea fácil y de bajo costo, lo que las convierte en ideales para la producción acuícola. De hecho, la producción de estas dos especies aumentó de manera significativa durante los primeros años de la década de los ochenta, pero en los últimos años se ha mantenido igual e incluso ha venido disminuyendo (Fig. 4.4). Sin embargo, las características biológicas de estas especies las hacen agresivas, no solo para las especies nativas sino para el mismo sistema acuático. La tilapia y la carpa conducen a la extinción local de especies nativas, muchas de ellas endémicas, como ha sucedido en la Cuenca del Lerma (Echelle y Echelle 1984; Miller 1986; Espinosa *et al.* 1993). Además, contribuyen a disminuir la calidad del agua, a la erosión de los bancos y a un aumento en la turbidez del agua (Tapia y Zambrano 2003).

En las lagunas costeras y manglares la especie más común para la acuicultura es el camarón. En años recientes su producción ha venido aumentando de manera significativa (Fig. 4.4) debido a que este organismo es de alto valor comercial. Sin embargo, el efecto que puede tener el cultivo de camarón sobre la diversidad de los sistemas costeros en los que se desarrolla puede ser muy grave. La transformación de manglares y lagunas inhibe la reproducción de especies marinas que dependen fundamentalmente de estos hábitats (Helfman *et al.* 1997; UNEP 2006).

### Madera

Los bosques y otros ecosistemas dominados por plantas leñosas proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos. Estos servicios incluyen la regulación de la erosión, del ciclo hidrológico, del clima, de la respuesta de los ecosistemas a eventos extremos, el mantenimiento



**Figura 4.4** Tendencias temporales de la producción de alimentos derivados de la acuicultura en México: producción de tres grupos de organismos en el periodo 1984-2001. Fuente: Conapesca (2003).

de la biodiversidad, la provisión de una amplia gama de recursos para la subsistencia de comunidades rurales e indígenas, así como la protección de patrimonios naturales y culturales, y oportunidades recreativas (Shvidenko *et al.* 2005). En los bosques la materia orgánica se acumula como resultado de la productividad primaria en árboles de gran tamaño. Estos árboles son aprovechados por las poblaciones humanas como fuente fundamental de materiales de construcción; su extracción constituye una actividad económica importante.

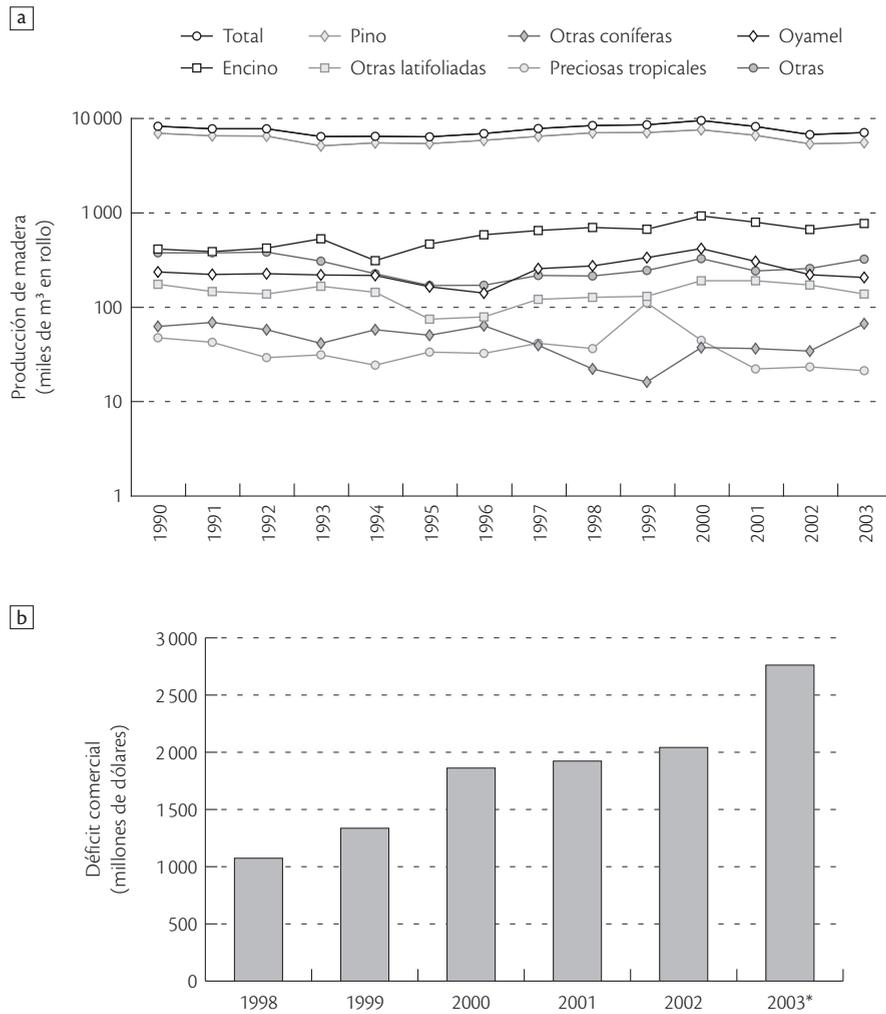
La oferta potencial de recursos maderables en nuestro país es muy elevada. Por un lado, México cuenta con una superficie forestal de 128 millones de hectáreas, de las cuales casi 75% corresponden a coberturas clasificadas como vegetación primaria o secundaria (INEGI 2005a), lo que lo ubica en el decimoprimer lugar mundial en términos de superficie forestal. Por otro lado, debido a la enorme diversidad de especies, nuestro país presenta una amplia oferta de especies maderables. Sin embargo, debido a la subutilización de este recurso, México ocupa tan solo el sitio 26 en cuanto a producción de madera (Conafor 2003). Además, esta depende fundamentalmente de la producción de un solo género de árboles (*Pinus* spp.); de los 6.3 a 9.4 millones de m<sup>3</sup> de madera en rollo producidos cada año entre 1990 y 2003, este género contribuyó con entre 78 y 85 por ciento (Fig. 4.5a). Las tecnologías para el manejo y procesamiento de otras especies son muy limitadas.

Además de que el potencial de los bosques mexicanos

para su manejo forestal está siendo subutilizado, se desperdicia la madera a consecuencia del cambio de uso del suelo. En México se pierden cada año entre 189 000 y 501 000 hectáreas de bosques tropicales y entre 127 000 y 167 000 hectáreas de bosques templados para abrir paso a la agricultura y a la ganadería (Masera *et al.* 1997). Sin embargo, los árboles talados durante este proceso de transformación no son incorporados a las actividades de extracción y procesamiento de madera.

El sector forestal presenta además un estancamiento, o incluso retroceso temporal. En la última década la producción de madera en México ha permanecido relativamente estable, a pesar de los incrementos en la demanda asociados al aumento del tamaño poblacional. El balance entre oferta y demanda es negativo: México importa madera para satisfacer la demanda. En el año 2000, la producción de madera interna de México tan solo satisfizo 58% de la demanda nacional de productos forestales, por lo que fue necesario importar el restante 42%; se provocó así un déficit de 5 700 millones de dólares, lo que representó 48% del déficit de la balanza comercial de México (Conafor 2003). Lejos de mejorar, este déficit parece ir en aumento, ya que en el año 2003 México importó 3.3 veces más productos forestales (principalmente madera) de los que exportó; ese año el déficit en la balanza comercial en el sector forestal fue de 2 800 millones de dólares (CCMSS 2005) (Fig. 4.5b).

Un problema adicional del sector forestal es la extracción ilícita de madera. Se estima que el volumen de ex-



**Figura 4.5** Tendencias temporales de la producción de madera en México: **(a)** producción de madera en rollo, 1990-2003, por tipos de árboles, y **(b)** déficit de la balanza comercial de productos forestales en México. \* El déficit para el año 2003 asciende a 3 599 millones de dólares, considerando imposiciones arancelarias. Se incluyó una cifra sin dichas imposiciones arancelarias ya que no se cuenta con ese valor para los años 1998-2002. Fuentes: INEGI (2005a); Semarnat (2003).

tracción ilícita de madera industrial es de alrededor de 13 millones de m<sup>3</sup> por año (Torres-Rojo 2004), equivalente a más del doble de lo producido por medio de esquemas legales de extracción. Además, por venderse en condiciones de ilegalidad, estos recursos generan una pérdida de ingresos a ejidos y comunidades de alrededor de 4 000 millones de pesos.

La producción forestal del país está muy concentrada espacialmente. Solo cinco entidades federativas (Durango, Chihuahua, Michoacán, Oaxaca y Jalisco) contribuyen con más de 75% de la producción forestal del país (Semarnat 2003). Michoacán y Oaxaca forman parte de los cinco estados con mayor diversidad biológica en el

país. Estos estados poseen un elevado potencial forestal a partir de sus bosques nativos; sin embargo, si la explotación forestal se basa en la reforestación intensiva de *Pinus* spp. para reemplazar la vegetación nativa, esto podría tener consecuencias graves sobre el mantenimiento de su biodiversidad.

Una perspectiva alentadora dentro del sector forestal es que México ocupa el primer lugar en manejo comunitario de bosques certificados como sustentables, tanto en zonas templadas como tropicales. A la fecha, 849 000 hectáreas se encuentran en este esquema, produciendo 1.23 millones de m<sup>3</sup> al año (RFA 2006), lo que corresponde a 14% de la producción de madera nacional. Este tipo

de manejo asegura el mantenimiento de la integridad del bosque, de su biodiversidad y de los otros servicios que el bosque proporciona.

### Leña

La producción de tejido leñoso en las plantas como resultado de la productividad primaria en bosques, selvas, matorrales, manglares y desiertos es aprovechada como fuente de energía (IEA 2002; Balvanera y Prabhu 2004; Sampson *et al.* 2005).

Los ecosistemas mexicanos proveen combustibles para satisfacer 11% del total de la demanda energética, 46% de la demanda energética residencial y 80% de la demanda energética del sector rural (Díaz 2000; Sener 2002). El volumen de biomasa vegetal utilizada como combustible es tres o cuatro veces superior al volumen de la extracción de madera comercial (Semarnat 2002; Masera *et al.* 2005; Masera *et al.* 2006). Este recurso es fundamental para la población mexicana, puesto que en nuestro país alrededor de 25 millones de personas cocinan con leña. Cerca de 17 millones de habitantes disponen únicamente de leña como combustible para cocinar, calentar agua y calentarse; otros 9 millones de personas usan leña en conjunto con gas licuado a presión (INEGI 2000; Masera *et al.* 2005; Masera *et al.* 2006).

La oferta accesible de leña en México proveniente de bosques, selvas, matorrales y otros tipos de vegetación natural se estima entre 58 y 96 millones de toneladas de materia seca al año. Estas cifras varían a lo largo del país debido a diferencias en la productividad y el acceso físico al recurso (Masera 2005) (Fig. 4.6a; no se consideraron limitaciones legales de acceso al recurso).

El consumo estimado de leña en México es de alrededor de 19 millones de toneladas al año en base húmeda; por lo tanto, en el país no existe déficit entre oferta y demanda (Masera *et al.* 2006). Se observa, sin embargo, que en los últimos años la demanda total de leña ha aumentado muy ligeramente; en cambio, la oferta ha tendido a disminuir debido a la deforestación y degradación de bosques y selvas. Estos patrones generales presentan una marcada heterogeneidad espacial. En el centro-sur de México (Veracruz, zona de la Huasteca, puntos específicos de Oaxaca y Chiapas, entre otros) existen zonas en las cuales se ha encontrado una disminución en la capacidad de provisión de leña dada por un incremento rápido en su demanda y una continua degradación de las masas forestales. Por el contrario, en el norte del país se estima que la capacidad de provisión de leña ha aumen-

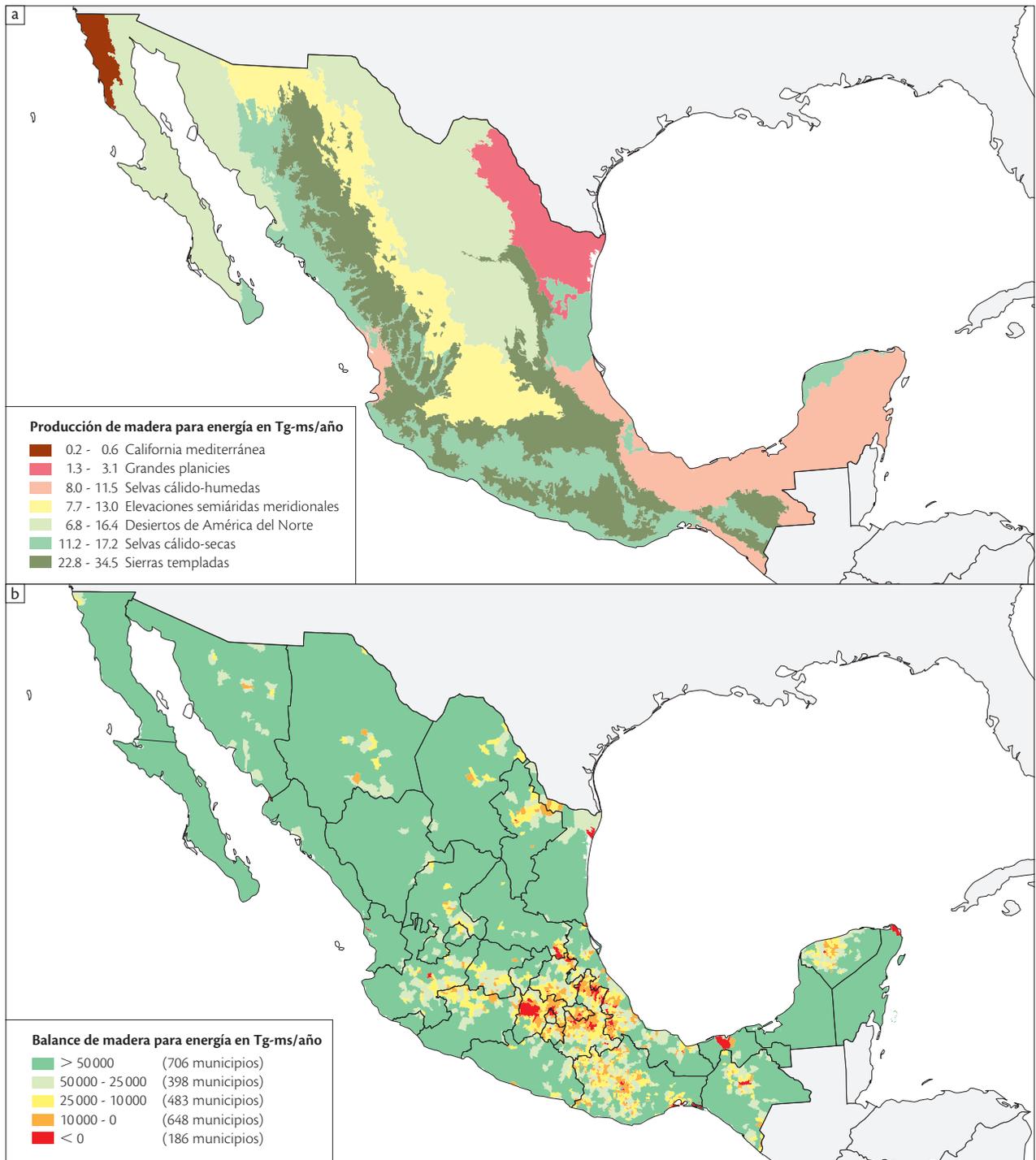
tado (Masera 2005; Masera *et al.* 2005; Masera *et al.* 2006) (Fig. 4.6b).

### Recursos diversos

La enorme biodiversidad del planeta, incluyendo plantas, animales, hongos, bacterias, tanto terrestres como acuáticos, proporciona gran número de servicios ecosistémicos que dependen del mantenimiento de tal biodiversidad. Como ya se dijo, los servicios pueden ser de provisión, satisfaciendo necesidades alimentarias, de salud o como fuente de ingresos. La biodiversidad desempeña también un papel central en numerosos procesos del ecosistema, y resulta relevante entonces por sus servicios de regulación; por ser un componente central de los ecosistemas, provee además servicios de sustento (Díaz *et al.* 2005; Balvanera *et al.* 2006). Algunos recursos pueden estar exentos de usos actuales, pero son la base para el descubrimiento futuro de nuevos productos farmacéuticos o industriales (recuadro 4.2); también pueden ser acervos de material genético de especies útiles, o fuente de especies con mejor capacidad de adaptación a condiciones climáticas futuras. La biodiversidad, por lo tanto, produce importantes ganancias económicas potenciales (Beattie *et al.* 2005).

México ofrece una gran variedad de recursos o servicios debido a su elevada diversidad biológica (genes, especies, ecosistemas), así como a su diversidad cultural. Dichos servicios son particularmente importantes para 20% de los mexicanos que viven en poblaciones de menos de 15 000 habitantes, es decir, en zonas rurales (INEGI 2005a). Los múltiples beneficios derivados de la biodiversidad se obtienen de la extracción individual de recursos, del manejo de productos forestales no maderables o de unidades de manejo de vida silvestre. Dada su amplitud, y la gran variedad de esquemas conceptuales y legales dentro de los cuales la obtención de estos recursos puede ser incluido, es prácticamente imposible hacer una cobertura completa del tema en este capítulo. Aquí lo abordaremos desde cuatro perspectivas contrastantes: los productos forestales no maderables con importancia económica, las plantas vasculares medicinales, los vertebrados silvestres útiles y los insectos comestibles y medicinales.

Los productos forestales no maderables (PFNM) abarcan una gran variedad de recursos que se extraen de bosques, selvas, matorrales o desiertos mediante distintos tipos de manejo. Los PFNM incluyen plantas, animales, hongos, suelo y sus derivados, que pueden ser utilizados



**Figura 4.6** Tendencias espaciales de la producción y el consumo de leña en México para el año 2000. Información agregada por ecorregión de nivel I: **(a)** rangos de producción de leña proveniente de bosques, selvas, matorrales y manglares naturales accesibles desde localidades y carreteras en 2000, y **(b)** balance entre la oferta y demanda de madera para leña en 2000. La información se desagregó por municipio. Se consideró para el cálculo del balance la oferta de madera para producir energía que proviene de coberturas naturales (e.g., bosques) y antrópicas (e.g., áreas agrícolas), accesibles desde localidades y carreteras. La oferta se obtuvo para el mapa de ecorregiones de nivel III y la demanda a partir de información de censos basada en municipios. Tg-ms = teragramos (o millones de toneladas) de materia seca. Fuentes: Masera (2005); Masera *et al.* (2006).

**RECUADRO 4.2** RECURSOS DIVERSOS DE MÉXICO Y SUS USOS POTENCIALES:  
EL CASO DE PLANTAS MEDICINALES Y EL DESARROLLO DE MEDICAMENTOS

Adolfo Andrade Cetto

La diabetes es un desorden en el metabolismo de los carbohidratos, las grasas y las proteínas, que resulta en una deficiencia en la secreción de insulina, en su acción o ambas (WHO 1999). Se calcula que en el mundo existen actualmente 180 millones de diabéticos (WHO 2005), y en México hay más de cinco millones (SSA 2005). El uso de plantas medicinales para tratar diversos padecimientos en nuestro país está ampliamente difundido, y en particular para el tratamiento de la diabetes se ha documentado el uso de 306 especies, de 235 géneros y 93 familias (Andrade-Cetto y Heinrich 2005).

A partir del conocimiento tradicional sobre el uso medicinal de alguna planta es posible administrarla de manera terapéutica cuando se comprenden los mecanismos de acción de la misma, así como los principios activos que producen actividades de efecto terapéutico. Con este conocimiento se pueden proponer distintas alternativas de uso: a) té medicinal, similar al de uso tradicional pero comprobando que los principios activos estén presentes; b) fitomedicamento, con

estricto control de calidad para que pueda ser recetado por médicos; c) aislamiento de un compuesto activo nuevo.

Entre las 306 especies de plantas útiles para la diabetes destaca *Cecropia obtusifolia*, debido a su amplia distribución geográfica, su rápida tasa de crecimiento, así como a la amplitud de su uso y popularidad como remedio potencial para controlar la diabetes tipo 2 (Andrade-Cetto y Heinrich 2005). Estudios en animales de laboratorio comprobaron el efecto hipoglucemiante agudo de la planta; los principios activos en el té medicinal han sido aislados (ácido clorogénico e isoorientina (Andrade-Cetto y Wiedenfeld 2001); el mecanismo de acción de la planta se produce debido al bloqueo de la liberación hepática de glucosa en estado de ayuno (Andrade-Cetto y Wiedenfeld 2001). Por lo anterior, *Cecropia obtusifolia* es un recurso renovable y potencialmente importante en el tratamiento de la diabetes tipo 2, y cuya actividad farmacológica está bien sustentada en sus principios activos.

como alimentos, medicinas o tener usos culturales (Panayotou y Ashton 1992; Shvidenko *et al.* 2005; Wood *et al.* 2005). Los PFNM se consideran dentro de las estadísticas de la producción forestal nacional (Semarnat 2003).

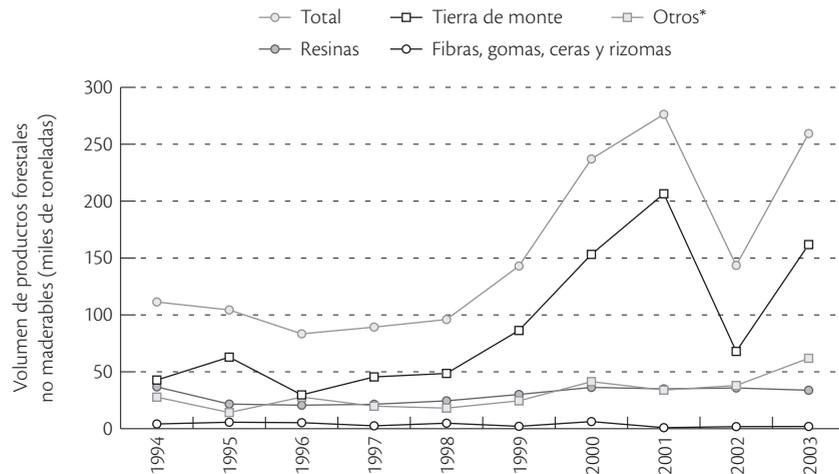
La obtención de PFNM presenta una tendencia al alza en México (Fig. 4.7). El PFNM más importante en los últimos 10 años es la tierra de monte. Este, sin embargo, no es un recurso renovable, al menos en el contexto de la perspectiva humana: la formación de suelo ha tomado cientos de miles de años, y al ser cosechado provoca cambios irreversibles en los ecosistemas.

El Distrito Federal, Michoacán, Morelos, Sonora y Veracruz producen 80% de los PFNM del país (Semarnat 2003). El Distrito Federal produce más de 60% de la tierra de monte, y junto con Morelos y Sonora producen 93% de esta. Tamaulipas produce más de 50% de todas las fibras. Históricamente, la explotación de PFNM ha sido económicamente más importante que la explotación maderera en algunas regiones del país. Tal es el caso de las selvas del sur de la Península de Yucatán, donde se explotó el látex de *Manilkara zapota* durante el periodo 1930-1950 (Turner *et al.* 2001); en los bosques templados

de Michoacán, durante las vedas forestales de los cincuenta, se extrajo la resina de varias especies del género *Pinus* (Cedeño-Gilardi 2005).

La confluencia de la elevada diversidad vegetal y la gran diversidad cultural del país es patente en la flora medicinal de nuestro país. En México, se estima que entre 3 000 y 6 000 especies tiene propiedades medicinales (existen ejemplares de herbario para 2 906 de ellas en el Herbario Medicinal del IMSS), lo que representan entre 10 y 20 por ciento de la diversidad vegetal del país. El conocimiento de la flora medicinal es más vasto en el bosque tropical perennifolio y en el bosque de pino-encino porque estos ecosistemas presentan elevadas densidades poblacionales, así como largas historias de interacción humano-ecosistema. El bosque mesófilo de montaña, la selva baja caducifolia y los matorrales xerófilos son los menos conocidos a pesar de que abarcan grandes extensiones del país; sin embargo, la flora medicinal de algunas localidades de Sonora, Sinaloa, Chihuahua y de la región de Tehuacán-Cuicatlán se conoce en detalle (IMSS 2005).

La flora medicinal puede aprovecharse localmente para autosubsistencia, o bien como actividad comercial,



**Figura 4.7** Tendencias temporales en los patrones de provisión de productos diversos en México entre 1994 y 2003: producción de productos forestales no maderables. \* Incluye hongos, nopales, cortezas, frutos, etcétera. Fuentes: INEGI (2005a).

a escalas local, regional, nacional o internacional. Dentro de los esquemas comerciales, los menos favorecidos son los colectores, mientras que los intermediarios son los que perciben las mayores ganancias (Hersch 1996). El Mercado de Sonora, en la ciudad de México, es el principal centro de acopio y venta de flora medicinal del país; ahí se comercializan en promedio 263 especies (frescas o secas). Las hojas (37%), tallos (34%), flores (21%) y raíces (4%) son las partes más comercializadas (De Garay 1997).

Existe una gran variación temporal en la comercialización de las plantas medicinales, debido a interacciones entre su oferta, demanda y manejo. Por ejemplo, la raíz de Jalapa (*Ipomoea purga*) era una planta ampliamente utilizada de manera popular y para fines industriales, como purgante y desparasitante; sin embargo, hoy día ya no se emplea. En cambio, la demanda de zarzaparrilla (*Smilax* spp.), utilizada como diurético, ha aumentado al punto de rebasar la oferta; como consecuencia, los acopiadores han adulterado su abasto con otras especies, particularmente con un helecho (*Pteridium* spp.). Los usos también cambian al explorar nuevas alternativas de curación para padecimientos de alta incidencia como la diabetes (Aguilar y Xolalpa 2002). El wareke (*Ibervillea sonora*), cuya comercialización se inicia en la década de los noventa, es actualmente una de las especies cuyo uso está en franco aumento en el país para el control de la diabetes (Xolalpa y Aguilar 2006). De igual manera, la hierba del sapo (*Eryngium carlinae*; *E. heterophyllum*) es de las plantas medicinales más socorridas actualmente para resolver problemas de hiperlipidemias. En la búsqueda de especies con propiedades medicinales deseadas

para su potencial comercialización o industrialización, el número de especies por elegir a medida que se acumulan conocimientos acerca del tema aumenta; así, por ejemplo, el número de especies medicinales utilizables para la exploración de sus aplicaciones en el tratamiento de la diabetes aumentó de 62 en 1989 (Legorreta 1989) a 306 en 2005 (Alarcón *et al.* 1993; Aguilar y Xolalpa 2002; Hernández-Galicia *et al.* 2002; Andrade-Cetto y Heinrich 2005).

A la vida silvestre se le reconocen cuatro valores: de uso, de cambio, de opción o potencial, y valor intrínseco o de existencia (Pérez Gil 1996; CONABIO 1998). En el caso de los vertebrados terrestres de México, se han reconocido 90 modalidades de uso (Pérez Gil 1996). De las 173 familias de vertebrados terrestres presentes en México, se ha documentado alguno de estos usos en 97 familias (56%), entre las que sobresalen el grupo de las aves (23%) y el de los anfibios (71%) (Pérez Gil 1996).

El uso de las especies silvestres ha conducido en algunos casos a su sobreexplotación (Baillie *et al.* 2004). Sin embargo, es posible hacer un uso sustentable de estas al incorporar criterios que aseguren el mantenimiento del ecosistema, las poblaciones de la especie en particular y que favorezcan la subsistencia humana (Pérez Gil 1996; CBD 2004). El comercio de pieles de reptil a partir de especies nativas (p. ej., *Crocodylus* spp., *Caiman* spp., *Iguana* spp. y *Crotalus* spp.) parece tener gran potencial de éxito, e incluso podría contribuir a que México se convierta en uno de los principales productores de estas. Sin embargo, a la fecha prevalece el uso legal de especies de reptiles no nativos (p. ej., *Tupinambis* spp., *Varanus* spp.

y *Python reticulatus*; cuadros 4.2 y 4.3) y el uso ilegal de especies nativas (p. ej., *Caiman* spp., Fig. 4.8) (Arroyo-Quiroz *et al.* 2007). Entre 1995 y 1999 se reportaron exportaciones mexicanas no autorizadas para Estados Unidos de especies de Crocodylidae y *Caiman* spp., seguidas por *Crotalus* spp., *Iguana iguana* y algunas especies de la familia Boidae (Fig. 4.8). La mayor parte de los productos de piel exportados ilegalmente (74%) provienen de especímenes extraídos del medio silvestre (Arroyo-Quiroz 2003).

En nuestro país hay una gran diversidad de insectos comestibles y medicinales. Hasta el momento se han registrado para el centro, sur y sureste del país 541 especies comestibles y 272 medicinales (Ramos-Elorduy y Pino 2005), que van desde las zonas áridas hasta los trópicos húmedos (Fig. 4.9). La demanda de estos recursos ha tendido a aumentar; recursos locales, cuya cosecha estaba acoplada a los ciclos naturales de las poblaciones, son actualmente sometidos a una explotación intensa para mercados nacionales e internacionales que los consideran platillos exóticos y atractivos (Ramos-Elorduy 2004). Además, la pérdida de hábitat nativo y los cambios en sus hospederos, resguardos o nidos están afectando negati-

vamente las poblaciones de escamoles, xamues, gusano blanco de maguey, entre otras (Ramos-Elorduy 2005). Otras especies, como el ahuahutle y el axayácatl de los lagos de Texcoco y de Xochimilco, se ven afectadas por la contaminación del agua. Aquellas especies calificadas como plagas de diversos cultivos han estado sujetas a aplicaciones de insecticidas (Figuroa 2003).

#### Agua (cantidad y calidad, que incluye servicios de provisión, regulación y soporte)

El ciclo del agua es el flujo sanguíneo de la biosfera y por lo tanto es vital para que los ecosistemas puedan brindar todo tipo de servicios (Falkenmark 2003; Vörösmarty *et al.* 2005). Además, el agua es importante para la realización de actividades productivas y para consumo humano; su calidad es fundamental para la salud tanto de los ecosistemas como de las poblaciones humanas. La posibilidad de obtener cierta cantidad de agua se considera un servicio de provisión; la regulación de la calidad y la temporalidad del agua son servicios de regulación; la existencia misma del ciclo hidrológico es un servicio de sustento. La cantidad, calidad y temporalidad del agua

**Cuadro 4.2** Importaciones mexicanas de pieles de reptil de especies no nativas, 1980-2001

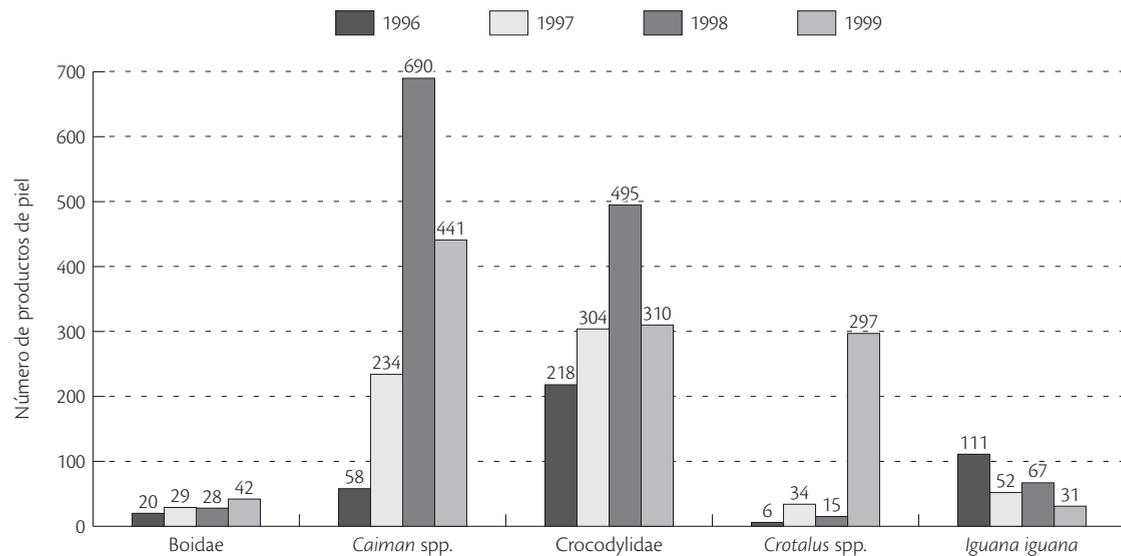
Especie o familia	Número de pieles enteras	Número de trozos de piel	Piel en peso (kg)
<i>Varanus salvator</i>	2 181 208	310 617	1 735
<i>Tupinambis</i> spp.	1 760 926	1 591 977	7 236
<i>Caiman</i> spp.	791 701	103 382	12 265
<i>Python reticulatus</i>	580 337	1 003 513	4 793
<i>Varanus niloticus</i>	99 878	—	—
<i>Alligator mississippiensis</i>	59 308	103 013	1 325
Crocodylidae	43 635	4 354	35
<b>Total</b>	<b>5 516 993</b>	<b>3 116 856</b>	<b>27 389</b>

Fuentes: Arroyo-Quiroz (2003).

**Cuadro 4.3** Exportaciones mexicanas de piel de reptil y productos de piel de especies nativas, 1980-2001

Especies	Número de pieles enteras	Número de productos de piel
<i>Caiman</i> spp.	1 304	1 808
<i>Crocodylus</i> spp.	301	2 331
<i>Iguana iguana</i>	21	754
<i>Boa constrictor</i>	12	2 035
<b>Total</b>	<b>1 638</b>	<b>6 928</b>

Fuentes: Arroyo-Quiroz (2003).



**Figura 4.8** Productos de piel de reptil de especies nativas cuya autorización para ingresar a Estados Unidos fue negada, 1996-1999. Fuente: Arroyo-Quiroz (2003).

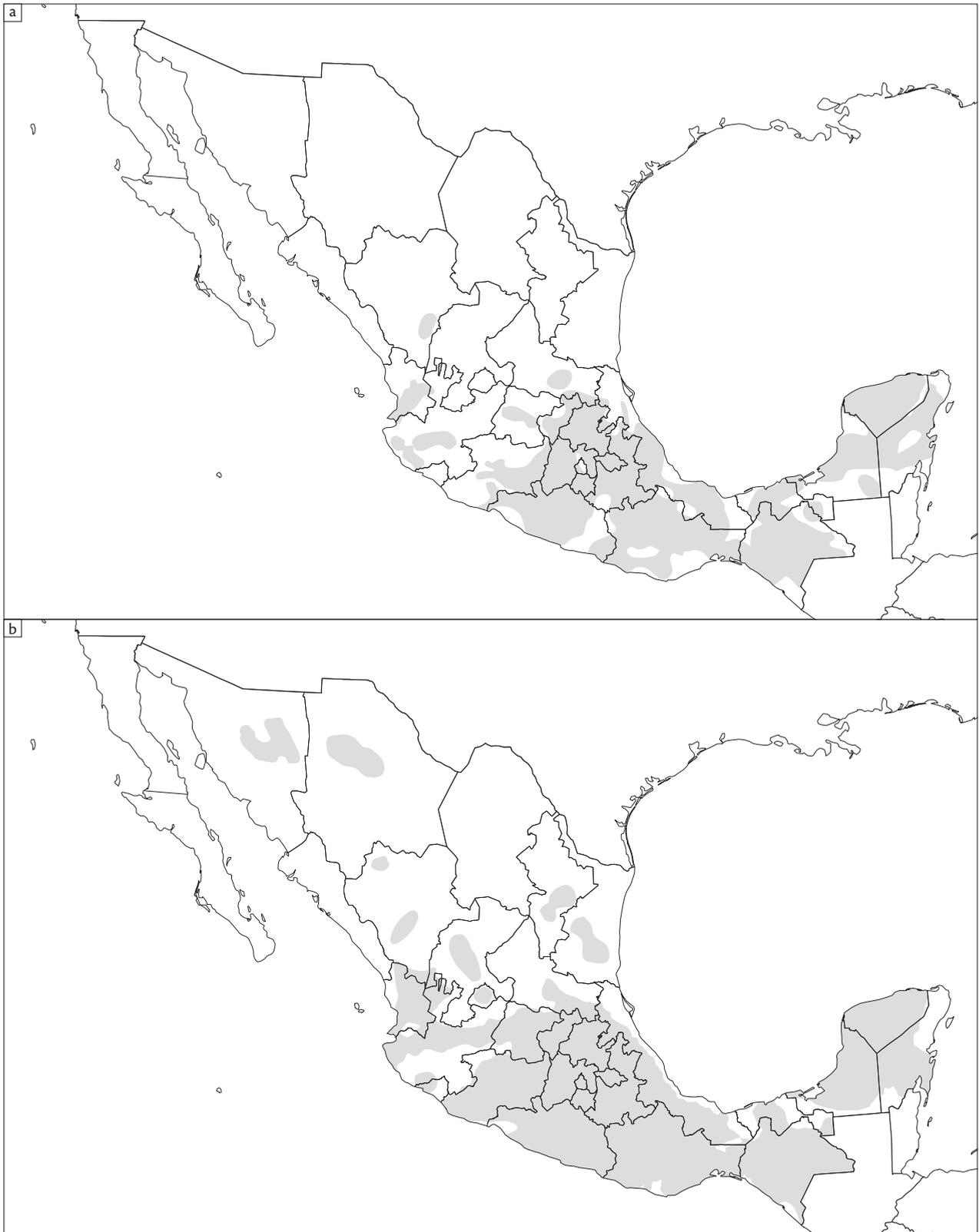
disponible dependen de patrones climáticos regionales de precipitación, del balance de los componentes del ciclo hidrológico, así como de las características de la vegetación, suelo y subsuelo (Vörösmarty *et al.* 2005). La regulación de la calidad del agua es producto de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas que se dan en los ecosistemas acuáticos y terrestres (cuadro 4.1). La calidad del agua se ve modificada por actividades humanas como la manipulación de los ecosistemas acuáticos continentales y de los sistemas terrestres, así como la contaminación del suelo, aire y el agua; la capacidad de los ecosistemas para depurar la carga de contaminantes es limitada y puede verse sobrepasada por los múltiples efectos producto de las actividades humanas sobre estos ecosistemas (Postel y Carpenter 1997; Millennium Ecosystem Assessment 2005).

La disponibilidad de agua se define como el volumen de agua superficial y subterránea potencialmente aprovechable en un territorio. En México la disponibilidad de agua es de regular escasez: en el año 2000, la disponibilidad media per cápita era de 4 841 m<sup>3</sup>/año (CNA 2002). El análisis por región hidrológica-administrativa (definidas por la Comisión Nacional del Agua con base en cuencas hidrológicas y la división político-administrativa municipal) revela que tres cuartas partes del territorio nacional experimentan niveles de disponibilidad considerados por la Organización de las Naciones Unidas como bajos, muy bajos y críticos (CNA 2001, 2002, 2003). Las regiones del país con un nivel de disponibili-

dad crítico (menos de 3 000 m<sup>3</sup>/habitante al año) eran: Península de Baja California (1 520 m<sup>3</sup>/habitante al año), Río Bravo (1 514 m<sup>3</sup>/habitante al año), Cuencas Centrales del Norte (1 813 m<sup>3</sup>/habitante al año), Lerma-Santiago-Pacífico (2 094 m<sup>3</sup>/habitante al año) y Valle de México (194 m<sup>3</sup>/habitante al año).

El grado de presión hídrica es un índice basado en criterios del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (Shiklomanov 2002), que reflejan la relación entre la disponibilidad de agua y los diferentes usos humanos, agrícolas e industriales; valores bajos del índice indican gran disponibilidad, mientras que valores elevados reflejan déficit en disponibilidad con respecto a la demanda (Shiklomanov 2002). Para el año 2000, solo 25% del territorio se encontraba en una situación de baja (<10%) presión hídrica; 45% del territorio mostraba condiciones de presión alta (20 a 40 por ciento), y 30% condiciones de muy alta (>40%) presión hídrica (Ávila 2003; CNA 2003). Para el año 2000, las regiones con muy alto grado de presión hídrica eran Península de Baja California (87%), Noroeste (76%), Río Bravo (56%), Cuencas Centrales (61%) y Valle de México (126%) (Fig. 4.10a).

Si se consideran las mismas tendencias de crecimiento en la demanda de agua de la población, la agricultura y la industria, una disponibilidad constante de agua superficial y subterránea (tomando como referencia el año 2000), y se excluye sobreexplotación de acuíferos y el cambio climático, el panorama del agua en México se torna aún más crítico para el año 2025 (Ávila 2003; Cona-



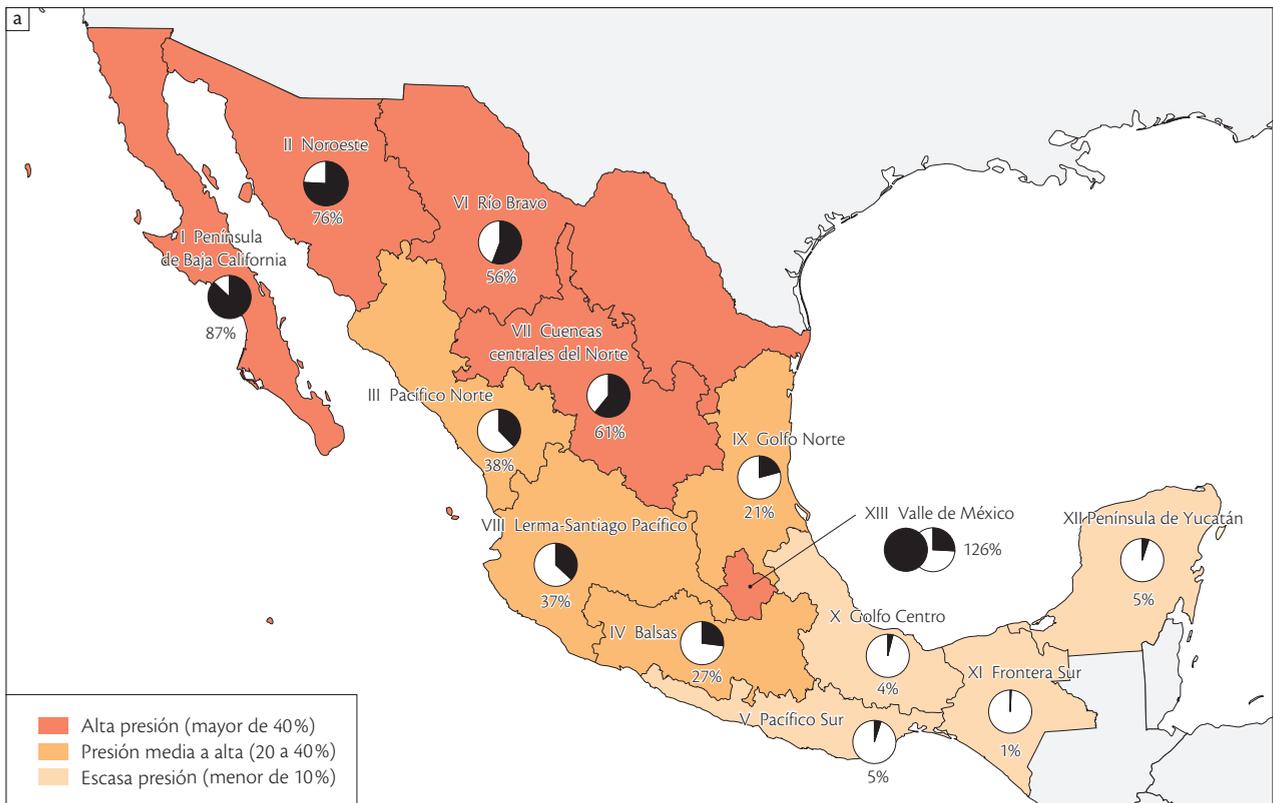
**Figura 4.9** Patrones espaciales de la provisión de productos diversos en México: **(a)** distribución de especies de insectos medicinales, y **(b)** distribución de especies de insectos comestibles. Fuente: Ramos-Elorduy y Pino (2005).

po 2003; INEGI 2005b). Para entonces, aproximadamente 55% del territorio nacional experimentará niveles muy altos de presión hídrica (Fig. 4.10b). En particular destacan los niveles más altos de presión hídrica en las regiones Península de Baja California (100%), Noroeste (85%), Río Bravo (64%), Cuencas Centrales (69%), Valle de México (142%), Pacífico Norte (42%) y Lerma (41%). En menor medida, las regiones Golfo Norte (21%) y Balsas (27%), que representan aproximadamente 20% del territorio, tendrán una alta presión hídrica. El resto de las regiones, como Pacífico Sur (5%), Golfo Centro (5%), Frontera Sur (1%) y Península de Yucatán (6%), experimentarán un grado bajo de presión hídrica.

En lo que se refiere a calidad del agua, la situación del país es poco alentadora. Dos indicadores generales de calidad del agua, la demanda bioquímica de oxígeno

(DBO), que refleja contaminación de tipo orgánico, y la demanda química de oxígeno (DQO), que refleja la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos, muestran que más de la mitad del país presenta cuerpos de agua contaminados (Fig. 4.10c, d). La situación es particularmente crítica en las regiones hidrológicas del Valle de México, en donde 65% de las aguas se clasifican como contaminadas a muy contaminadas de acuerdo con la DBO, y 65% contaminadas de acuerdo con la DQO; en Lerma-Santiago-Pacífico se presentan con 12 y 18 por ciento, respectivamente (recuadro 4.3), y en la Península de Baja California con 13 y 47 por ciento (CNA 2005).

El 80% de las descargas de centros urbanos y 85% de las descargas industriales se vierten directamente en los cuerpos de agua sin tratamiento previo; otras fuentes de contaminantes incluyen los derivados de la acuicultura



**Figura 4.10** [Esta página y las siguientes] Patrones espaciales de la provisión de agua en México: cantidad y calidad: **(a)** grado de presión hídrica (cociente entre demanda y oferta: a mayor déficit entre oferta y demanda, mayor presión para distintas regiones hidrológicas del país en 2000; **(b)** proyecciones del grado de presión hídrica para distintas regiones hidrológicas del país para 2025; **(c)** calidad del agua en términos de la demanda bioquímica de oxígeno (la cual refleja contaminación de tipo orgánico), por región hidrológica administrativa; **(d)** calidad del agua, en términos de la demanda química de oxígeno (la cual refleja la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos), por región hidrológica administrativa, y **(e)** volumen de descargas acumuladas no tratadas de distintos orígenes, por región hidrológica administrativa. Fuentes: Allen-Wardell *et al.* (1998); Ávila (2003); CNA (2003, 2004, 2005).

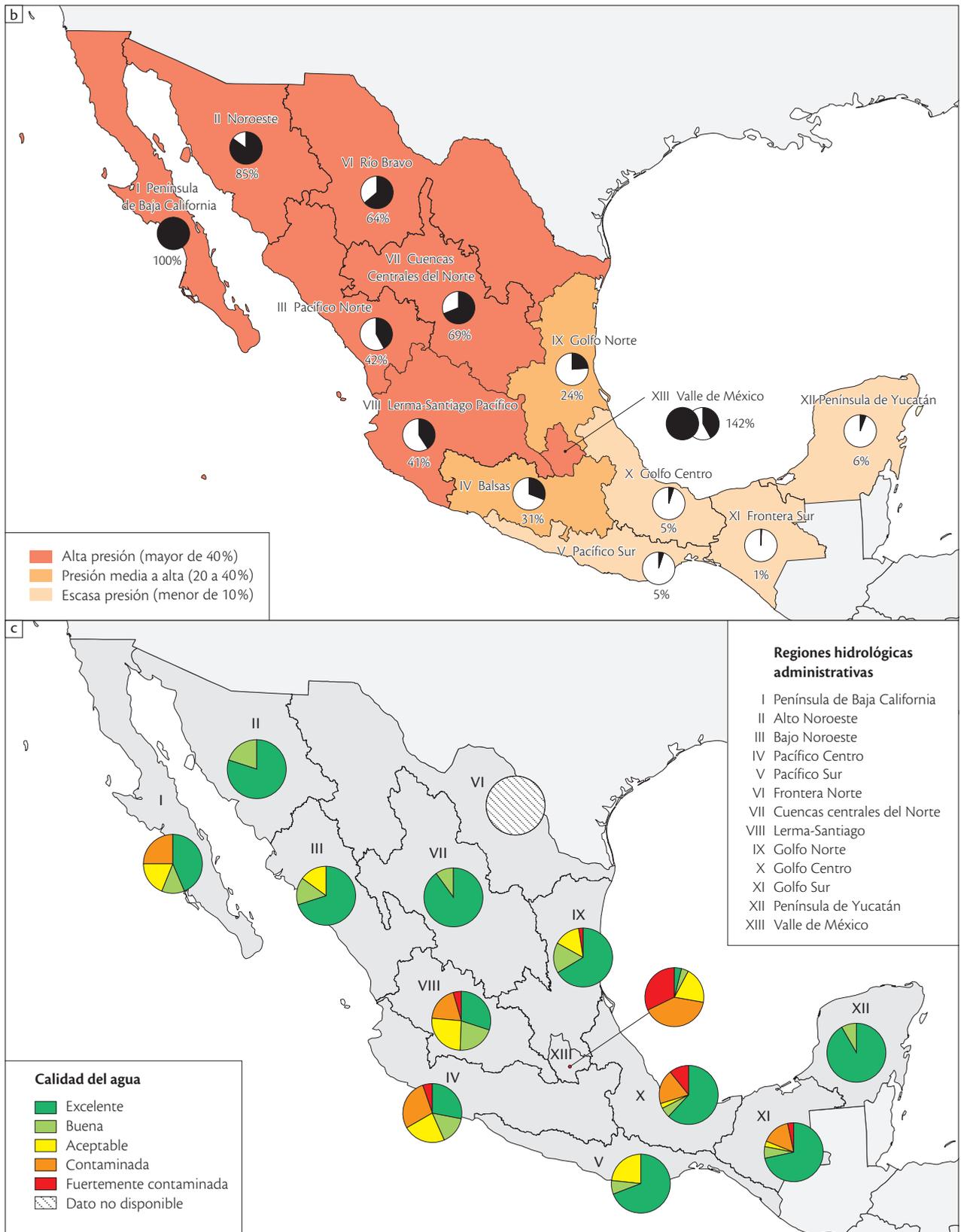


Figura 4.10 [continúa].

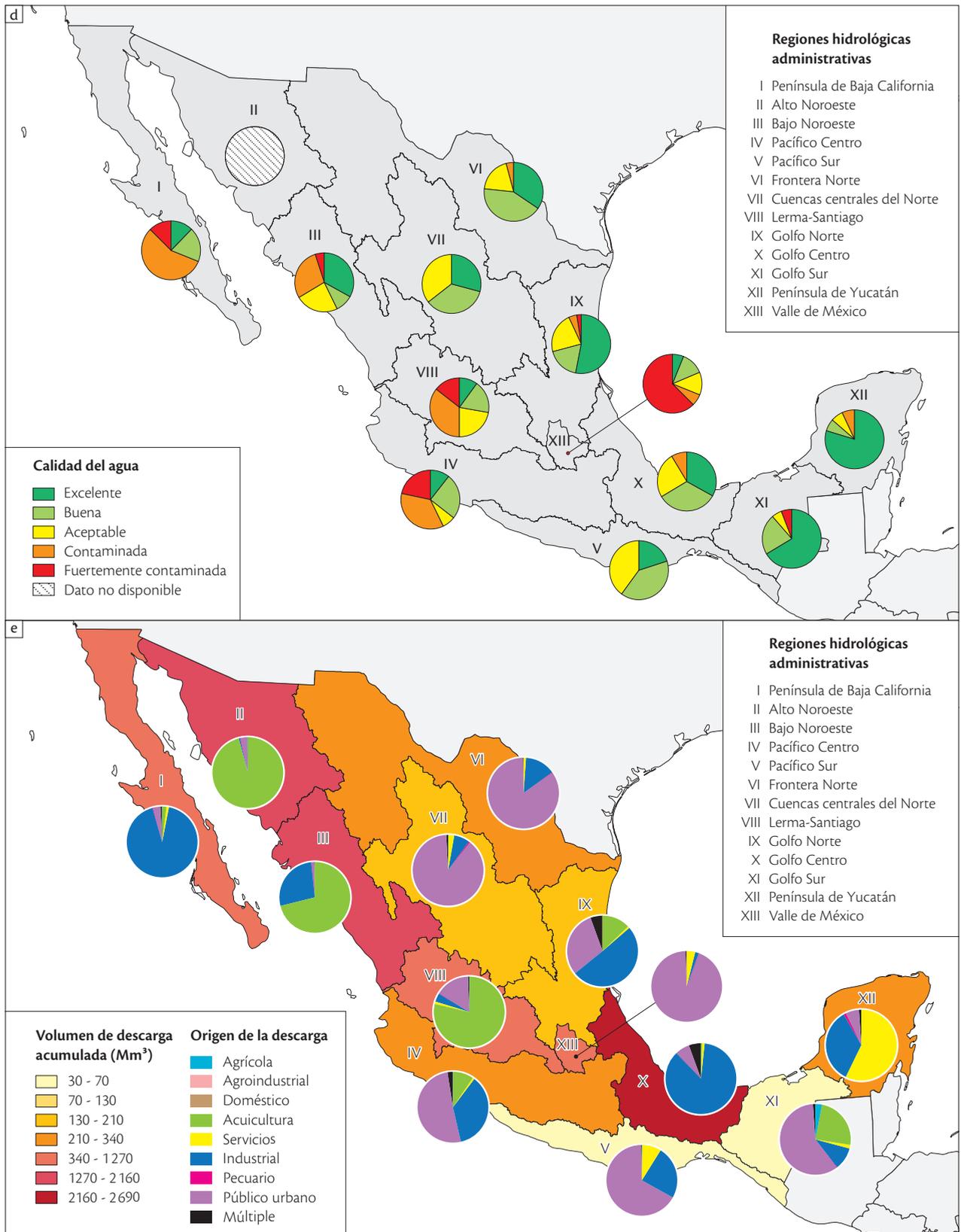


Figura 4.10 [concluye].

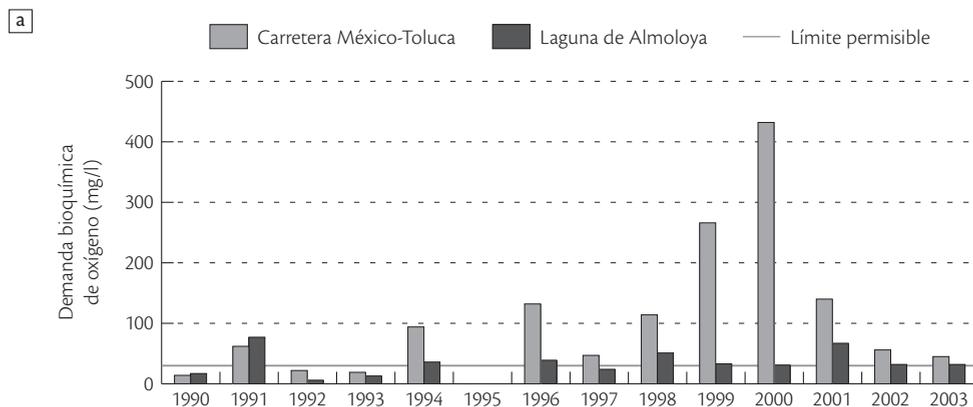
**RECUADRO 4.3** CAMBIOS TEMPORALES EN LA CAPACIDAD DE REGULACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA:  
EL CASO DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA

Marisa Mazari • Alba Zarco

La cuenca alta del Río Lerma es un sistema cuyo estudio resulta ideal para analizar las tendencias temporales de la calidad del agua, debido a su cercanía a la ciudad de México, a la heterogeneidad de condiciones que presenta y a los datos disponibles para esa región. Se trata de una cuenca semicerrada que incluye una zona de humedales, las Ciénegas del Lerma, que constituyen no solo un hábitat para la protección de la biodiversidad (al tratarse de un área natural protegida), sino que también son el origen del Río Lerma y un regulador de la calidad del agua (Pérez-Ortiz 2005). El acelerado crecimiento poblacional y el desarrollo industrial de la zona, así como el inadecuado manejo del agua residual han afectado negativamente los sistemas acuáticos (humedales, ríos). Aunado a ello, la construcción de tres presas, Antonio Alzate, Ignacio Ramírez y Tepetitlán, fragmentó el curso natural de los ríos, provocando el deterioro del sistema.

Estos efectos pueden observarse en la evolución histórica (13 años) de cuatro indicadores de calidad del agua: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto y coliformes fecales, como bacterias indicadoras de contaminación (CNA 2005). Estos indicadores, salvo el caso del oxígeno disuelto, reflejan contaminación de los cuerpos de agua por desechos de tipo doméstico, agropecuario o industrial (Fig. 1).

Se observan dos zonas contrastantes en cuanto al servicio de regulación de la calidad del agua: el humedal representado por el sitio Laguna de Almoloya y el río representado por el sitio carretera México-Toluca. En el humedal persisten las interacciones físicas, químicas y biológicas que permiten el servicio de regulación de calidad del agua, aun cuando han sido alteradas en diferente grado. Por ejemplo, en la última década la DBO no rebasa el límite permisible recomendado para la protección de la vida acuática; a pesar de presentar fluctuaciones con niveles relativamente altos, el sistema aún tiene la capacidad de depuración (Fig. 1a). Asimismo, la cuantificación de coliformes fecales refleja una disminución en la presencia de bacterias indicadoras a partir de 1995, condición que persiste en 2003 (Fig. 1d). Por el contrario, en el caso del Río Lerma (sitio carretera México-Toluca) se ha deteriorado el servicio proporcionado por el sistema acuático. La descarga de aguas residuales de origen urbano e industrial, la carga de materia orgánica que las bacterias pueden degradar (DBO), la carga de contaminantes inorgánicos persistentes (DQO), los bajos niveles de oxígeno (menores de lo necesario para sustentar la vida acuática), así como los altos conteos de coliformes fecales han superado la capacidad del río para depurar la carga, debido a la tasa y el tipo de contaminantes que son vertidos al mismo (Fig. 1a, b, c, d).



**Figura 1** [Esta página y la siguiente] Calidad del agua en el Río Lerma: comportamiento histórico (1970-2003) de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas del agua en dos estaciones de la Red Nacional de Monitoreo del Agua-CNA: **(a)** demanda bioquímica de oxígeno; **(b)** demanda química de oxígeno; **(c)** oxígeno disuelto, y **(d)** coliformes fecales. La línea continua en gris representa el límite permisible de acuerdo con la normatividad mexicana actual. Fuente: CNA (2004, 2005).

RECUADRO 4.3 [concluye]

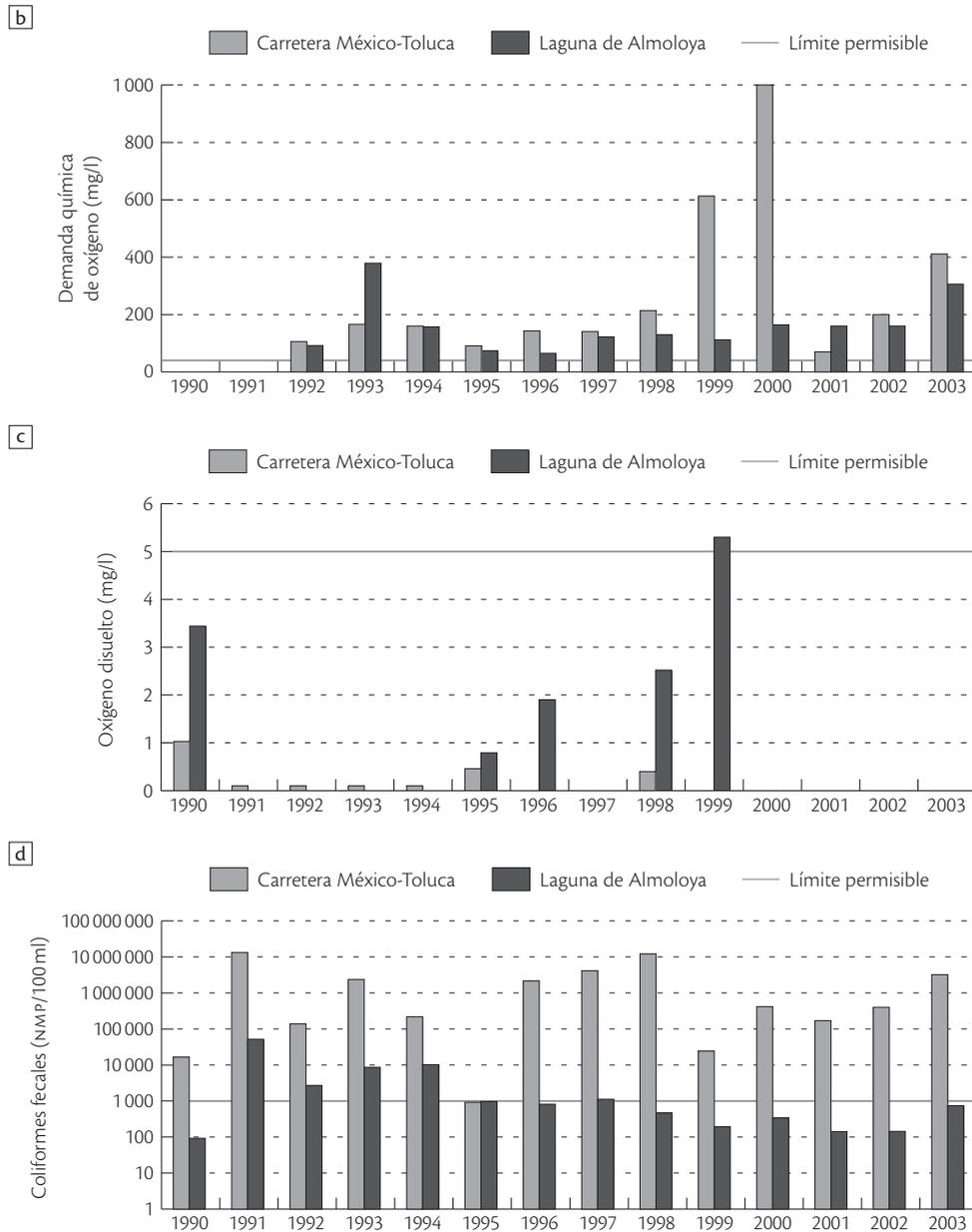


Figura 1 [concluye].

Es posible demostrar que el servicio ambiental de regulación de calidad del agua por parte del humedal y del río ha sido sobrepasado en esta región. En el caso del humedal, la carga de compuestos inorgánicos persistentes está sobrepasando la capacidad de depuración del sistema y el consumo de oxígeno indispensable para la sobrevivencia de las especies, al ser ocupado en la degradación de estos

compuestos, lo cual implica en el corto plazo la pérdida del servicio en este sistema. En el río ha disminuido considerablemente la capacidad de depuración y recuperación, lo que afecta seriamente las diversas actividades productivas aguas abajo, así como la presencia y abundancia de los organismos acuáticos (Mazari Hiriart y Zarco Arista 2005) (Fig. 1a, b, c, d).

(CNA 2005) (Fig. 4.10e). Las regiones con mayores volúmenes de descargas son el Golfo Centro, principalmente afectada por la actividad industrial, y las regiones Alto Noroeste y Bajo Noreste, debido en gran parte a la acuicultura. Aunado a ello, el uso de aguas residuales para riego agrícola en México es una práctica común (CNA 2005) que abarca 180 000 hectáreas; estas cifras han colocado a México en primer lugar en cuanto a riego con aguas residuales sin tratamiento. Estas regresan parcialmente a los cuerpos de agua con una carga de nutrientes procedentes de fertilizantes, así como un cierto contenido de plaguicidas. Como resultado de lo anterior, 73% de los cuerpos de agua del país presentan cierto grado de contaminación (CNA 2005).

Por otra parte, la capacidad de dilución y degradación de contaminantes por parte de los sistemas acuáticos en el país se ha visto alterada por la construcción de aproximadamente 4 000 presas y otras obras hidráulicas (CNA 2005) que han fragmentado los sistemas acuáticos y modificado las condiciones físicoquímicas del agua. Como consecuencia de la falta de tratamiento cuenca arriba de las aguas de los asentamientos humanos, así como de la descarga de aguas residuales directamente al mar, la calidad bacteriológica de las playas está siendo afectada; estas condiciones se reportan para varios sitios turísticos, siendo crítica la situación en Acapulco, Manzanillo y Veracruz (CNA 2004).

### 4.3.2 Servicios de regulación

#### Regulación asociada a la biodiversidad

La biodiversidad se refiere al número, la abundancia relativa y la composición de genes, especies, comunidades o paisajes. Todos estos atributos de la biodiversidad son determinantes de la tasa, magnitud y dirección de los procesos ecosistémicos, y por lo tanto determinantes de la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios a las poblaciones humanas (Díaz *et al.* 2005; Hooper *et al.* 2005; Balvanera *et al.* 2006). En particular, la composición de especies, y en menor medida su número, son muy importantes para la provisión de servicios ecosistémicos; sin embargo, tanto la composición como el número de especies pueden verse afectados por actividades antropogénicas. El mantenimiento de las complejas interacciones de los distintos componentes de la biodiversidad es fundamental para mantener a largo plazo la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios.

La provisión de prácticamente todos los servicios ecosistémicos es regulada por la biodiversidad (Díaz *et al.* 2005; Hooper *et al.* 2005; Balvanera *et al.* 2006). Esta modula la productividad primaria (asociada a servicios como provisión de alimentos o de madera), el reciclaje de nutrientes y la formación y retención del suelo (asociados a servicios como el mantenimiento de la fertilidad y control de la erosión), o la regulación del ciclo hidrológico (asociada a servicios como la provisión de agua y regulación de su calidad). La biodiversidad también desempeña un papel central en la regulación de polinizadores, plagas y vectores de enfermedades, la regulación climática y la regulación de las respuestas a los eventos naturales extremos. La biodiversidad tiene un papel fundamental en la capacidad de los ecosistemas para proporcionar de forma confiable servicios ecosistémicos (Folke *et al.* 2002; Díaz *et al.* 2005). Se ha observado que ecosistemas más diversos tienden a presentar fluctuaciones menos marcadas en cuanto a la magnitud y velocidad de los procesos ecosistémicos; además, tienden a verse menos afectados por disturbios, tanto humanos como naturales, incluyendo eventos climáticos extremos, y a recuperarse más rápido después de estos (Díaz *et al.* 2005; Hooper *et al.* 2005).

Las tendencias espaciales y temporales de los ecosistemas mexicanos para proporcionar servicios ecosistémicos dependen, por lo tanto, de qué tanto es posible mantener la elevada biodiversidad de nuestro país, tanto en número como en tipos de especies. Sin embargo, carecemos de datos concretos que nos permitan evaluar las consecuencias actuales de la pérdida de biodiversidad sobre la dotación de servicios ecosistémicos en nuestro país.

#### Regulación de plagas, de vectores de enfermedades y de la polinización

El mantenimiento de las relaciones entre los componentes de la biodiversidad, o interacciones bióticas, es particularmente importante para la provisión de algunos servicios, como los de regulación de plagas, regulación de vectores de enfermedades, regulación de la polinización o regulación de las especies invasoras (Díaz *et al.* 2005). Debido a que la información con respecto a este tema es aún muy limitada, en esta sección abordaremos algunos casos, analizando cómo los cambios en la biodiversidad de los ecosistemas, y en particular en sus interacciones bióticas, pueden afectar la provisión de estos servicios en nuestro país.

La regulación de plagas agrícolas depende de la diversidad de sus enemigos naturales, de la diversidad de es-

pecies dentro de los ecosistemas, así como de la diversidad de la disposición espacial de los tipos de ecosistemas agrícolas en el paisaje (Díaz *et al.* 2005). La reducción de la biodiversidad en ecosistemas agrícolas, al igual que la homogeneización de los paisajes agropecuarios contribuyen a una disminución en la capacidad de los ecosistemas para regular las poblaciones de plagas. Además, el intercambio de productos agrícolas ha favorecido la introducción de plagas a zonas donde no presentan enemigos naturales (Díaz *et al.* 2005). Debido a todo esto, en México se han gastado en los últimos 10 años más de 1 200 millones de pesos en la erradicación, y en su caso manejo, de plagas y enfermedades producidas por especies introducidas, como la mosca del Mediterráneo, la broca del café y el carbón parcial del trigo (Piña y Carrillo 1985; Carrillo 1990; Almeida *et al.* 1998; DGSV 2006). Recientemente han surgido plagas que antes no se consideraban de importancia económica, como los insectos chupadores y vectores de virus (p. ej., mosquita blanca, áfidos, trips, psílidos y escamas, entre otros), que son responsables de transmitir enfermedades fulminantes como la tristeza de los cítricos y el amarillamiento letal del cocotero (Piña y Carrillo 1985; Carrillo 1990; Rocha-Peña *et al.* 1995; Almeida *et al.* 1998). La introducción de la palomilla del nopal, *Cactoblastis cactorum*, registrada por primera vez en agosto de 2006 y que, si bien fue declarada erradicada por la Sagarpa en septiembre de 2008 (CONABIO 2008), puede tener consecuencias económicas muy negativas, así como conducir a la pérdida de la enorme biodiversidad del nopal del país (Soberón *et al.* 2001; véase el capítulo 6 de este volumen). El combate a las plagas se realiza fundamentalmente mediante el uso de plaguicidas. El consumo estimado de estos en México durante 2002, con base en los 15 ingredientes activos más usados, fue de 24 412 toneladas (Mata 2004). La regulación de plagas mediante la manipulación de la biodiversidad de los ecosistemas y paisajes agrícolas, así como la introducción de enemigos naturales para las plagas, incluyendo la cría masiva en o cerca de las localidades donde se usarán, son muy deseables. Por ejemplo, la incidencia de la mariposa blanca, *Leptophobia aripa*, puede ser reducida por medio de prácticas de manejo (Santiago Lastra *et al.* 2006). La implementación a gran escala de la regulación biológica de plagas (recuadro 4.4) depende de que se establezcan mecanismos adecuados para la comercialización de productos orgánicos.

La mayoría de las plantas con flores (angiospermas) en condiciones naturales y más de un tercio de las plantas cultivadas del planeta dependen de su interacción con

más de 300 000 especies de animales que transportan el polen de una flor a la otra para la producción de frutos y semillas (Buchmann y Nabham 1996; SPGRS 2007). Por lo tanto, cambios en la composición, diversidad de especies y tamaños poblacionales de los polinizadores, y de las especies que con estos interactúan, pueden afectar la producción de cultivos polinizados por animales (Díaz *et al.* 2005). De hecho en los últimos años se ha registrado una dramática reducción en las poblaciones de murciélagos, colibríes, mariposas y palomillas nocturnas, abejas, avispas, moscas y escarabajos polinizadores, lo que sugiere que nos encontramos en una crisis global por la declinación de los polinizadores (CSPNA 2007).

En México el servicio de polinización es fundamental tanto para la producción agrícola como para el mantenimiento de la biodiversidad (recuadro 4.5). El 88% de las 130 especies de plantas cultivadas en el país depende de polinizadores para su producción. Existe una gran diversidad de especies polinizadoras en México; se estima que hay aproximadamente 25 000 especies de mariposas (Llorente y Luis 1988) y 1 589 especies de abejas silvestres registradas, de las cuales 90% son recolectoras de polen (Ayala *et al.* 1998). Tan solo para una especie, el aguacate (*Persea americana*), al menos 70 especies diferentes de insectos visitan sus flores para obtener néctar (Castañeda *et al.* 1999).

En México se siembran más de 5 millones de hectáreas con cultivos agrícolas que dependen de polinizadores, los cuales generan un ingreso de más de 63 000 millones de pesos al año; en cambio, el ingreso proveniente de cultivos que no dependen de polinizadores es de tan solo 35 000 millones de pesos al año (Sagarpa 2002). En el mundo se ha calculado que el valor de la polinización asciende a 200 000 millones de dólares anualmente (FAO 2005).

En cuanto a las consecuencias de los cambios en la regulación de las poblaciones de polinizadores en México, las evidencias son contradictorias. Por un lado, se ha propuesto que la introducción a Mesoamérica en 1985 de la abeja africana (*Apis mellifera scutellata*) puede haber causado desplazamiento de los polinizadores naturales y contribuido a las aparentes reducciones en los rendimientos del café; el rendimiento durante el periodo 1991-2001 fue 2% menor que el del periodo 1961-1980. Por otro lado, la abeja introducida mejoró los rendimientos de café en otros países (Roubik 2002). La importancia de los polinizadores nativos ha sido demostrada en el caso de las especies de calabazas (*Cucurbita* spp.) en México. Los polinizadores nativos (abejas solitarias de los géneros *Peponapis* y *Xenoglossa*) de las calabazas son

**RECUADRO 4.4** LA REGULACIÓN BIOLÓGICA DE PLAGAS: EL CASO DE LA MOSCA DE LA FRUTA

Martín Aluja • Juan Rull • Martha Aguilera Peña • Francisco Díaz-Fleischer

Las moscas de la fruta (Diptera: Tephritidae) son consideradas una de las 10 plagas agrícolas más dañinas en el mundo (Aluja 1993). En México hay cuatro especies del género *Anastrepha* (*A. ludens*, *A. fraterculus* [morfortipo mexicano], *A. obliqua*, *A. serpentina* y *A. striata*), una del género *Rhagoletis* (*R. af. pomonella*) y otra del género *Toxotrypana* (*T. curvicauda*) que son consideradas plagas (Aluja 1993). Además, existe la permanente amenaza de la invasión por parte de la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata*, desde Guatemala y cuyo ingreso al país ocasionaría pérdidas multimillonarias (DGSV 2006).

El manejo de estas plagas representa un buen ejemplo de cómo avances tecnológicos y en el conocimiento de su biología y comportamiento han permitido romper el círculo vicioso de la aplicación exclusiva de insecticidas para utilizar en cambio métodos biorracionales (Aluja 1996).

Tradicionalmente, estas plagas se han controlado mediante la aplicación de un insecticida cebo, que consiste en combinar, por ejemplo, malatión con una proteína hidrolizada (cebo alimenticio). Este esquema, que se sigue usando en muchas partes del país, tiene efectos negativos sobre la entomofauna nativa y sobre la salud humana y ambiental (Aluja 1993). Sin embargo, el gobierno federal, por medio de la Campaña Nacional contra las Moscas de la Fruta (Dirección General de

Sanidad Vegetal-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca), ha venido fomentando, en los últimos 20 años, el empleo de alternativas al uso indiscriminado de los insecticidas cebo. Destacan por su importancia la técnica del insecto estéril (SIT por sus siglas en inglés [Sterile Insect Technique]), el control biológico aumentativo (es decir, la liberación masiva de parasitoides criados en el laboratorio) y la utilización de insecticidas de bajo impacto ambiental (Aluja 1996). Lo anterior, aplicando la estrategia de “manejo regional” (es decir, toda una región de producción de frutales, no de huertos individuales) con el objetivo de lograr “zonas de baja prevalencia” (regiones en las que la plaga ha sido prácticamente erradicada o donde las poblaciones son muy bajas porque las condiciones ambientales no son propicias para su incremento), o “zonas libres” de estas plagas (regiones donde la plaga no se ha podido establecer o de donde ha sido erradicada). En el caso del control biológico, se hacen esfuerzos por utilizar cada vez más parasitoides nativos en vez de especies exóticas (Aluja 1999). Adicionalmente, se han desarrollado alternativas biorracionales como la manipulación del hábitat (Aluja *et al.* 1997), la intercepción de la plaga mediante cultivos trampa y el desarrollo de trampas y cebos específicos (*i.e.*, que eviten atraer insectos no blanco; Duan y Prokopy 1995).

más eficientes que los introducidos (Canto-Aguilar y Parra-Tabla 2000; Mariano-Bonigo 2001; Meléndez *et al.* 2002). Asimismo, la producción de miel al norte de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, depende de múltiples especies de abejas nativas que visitan más de 100 especies de plantas de la selva (Porter 2003). En general, los reportes recientes indican disminuciones en las poblaciones de polinizadores en distintas partes del mundo, incluyendo México (Allen-Wardell *et al.* 1998). Tal es el caso de las colonias de abejas melíferas en Norteamérica (Allen-Wardell *et al.* 1998). En México, el número de colmenas de abejas melíferas sufrió una considerable disminución entre 1983, cuando se contaba con 2.8 millones (Labougle y Zozaya 1986) y 1999, cuando se registraron 1.9 millones (Sagarpa 2005). También es posible que se estén reduciendo las poblaciones de mariposas en sus sitios de hibernación en México, puesto que en el invierno 2004-2005 alcanzaron el mínimo del periodo 1993-2005 (Brower *et al.* 2005). Sin embargo, en otros

casos, los patrones temporales no son claros. En el caso de las tres especies de murciélagos nectarívoros que polinizan agaváceas y cactáceas, tanto silvestres como cultivadas, los resultados muestran que el tamaño de las congregaciones varía de un año a otro. Si bien no hay evidencias de disminución de las poblaciones de murciélagos en la porción norteña de su rango de distribución, la cual incluye gran parte de México (Fleming *et al.* 2003), estos están siendo amenazados en ambos lados de la frontera entre México y Estados Unidos debido a la destrucción de las cuevas que habitan (López-Hoffman *et al.* en prensa).

La principal demanda de polinizadores para cultivos a escala industrial se presenta en los estados del norte del país, así como en las zonas citrícolas de Veracruz. En estos casos se han introducido polinizadores para suplir el servicio que proporcionan las poblaciones naturales. En 1999 se utilizaron 187 240 colmenas de abejas melíferas para la polinización de 15 cultivos (Lastra-Marín y Peralta-

**RECUADRO 4.5** LA REGULACIÓN DE LA POLINIZACIÓN: UN SERVICIO ECOSISTÉMICO PARA LA AGRICULTURA Y SU RELACIÓN CON EL MANTENIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD

Alejandro Casas

México es uno de los principales centros de domesticación de plantas en el mundo (Harlan 1992; Hawkes 1983). Las culturas del área mesoamericana han sido muy activas en cuanto a introducir y mantener, con diversas formas de manejo (Casas *et al.* 1997), el cultivo de entre 500 y 600 especies de plantas originalmente silvestres en la región (Caballero *et al.* 1998; Casas 1998). De esta forma, en las áreas rurales de México las poblaciones de plantas manejadas por los campesinos, que constituyen ecosistemas transformados, comúnmente coexisten con poblaciones de sus parientes silvestres, las cuales forman parte de los ecosistemas naturales contiguos. En algunos casos los procesos de domesticación pueden determinar cambios en los mecanismos reproductivos de las plantas, estableciendo barreras al intercambio de genes de estas y sus parientes silvestres. Sin embargo, es muy común que las poblaciones silvestres y las domesticadas cambien genes entre sí, ya sea por medio de polen o de semillas, ya que generalmente estas poblaciones comparten los mismos mecanismos de polinización y dispersión de semillas.

En el caso de las plantas polinizadas por algún vector animal (insectos, aves, murciélagos), sus poblaciones silvestres suelen ser importantes bastiones de recursos (néctar y polen) para los polinizadores: contribuyen en forma decisiva al mantenimiento de las poblaciones de estos últimos y determinan, por lo tanto, un servicio crucial para el sostenimiento de las actividades productivas (Proctor *et al.* 1993).

Algunos de los factores involucrados en la declinación de los polinizadores son: 1] la expansión de las áreas de cultivo, lo que incrementa la demanda de polinización y fragmenta y

elimina las áreas de hábitat para los polinizadores; 2] el uso excesivo de plaguicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades; 3] la ocurrencia y expansión de especies invasoras que “distraen” o diluyen el esfuerzo de los polinizadores remanentes hacia la flora nativa; 4] la presencia de asincronías provocadas por el cambio climático entre la ocurrencia de los periodos de floración y los ciclos reproductivos de los polinizadores; 5] las alteraciones en las condiciones y características de los hábitats de los polinizadores por efectos del cambio climático; 6] el desplazamiento de polinizadores nativos por la actividad de abejas domésticas o africanizadas, y 7] el incremento de la distancia entre las áreas de refugio y reproducción de polinizadores y las áreas de cultivo a las que podrían dar servicio (CSPNA 2007).

La disminución de los organismos polinizadores puede tener varias consecuencias sobre el ecosistema. Los grupos más susceptibles a estos cambios son: 1] las angiospermas en ecosistemas naturales (árboles, matorrales, herbáceas y epífitas, incluyendo orquídeas); 2] los cultivos agrícolas comerciales, y 3] las especies forestales (en ambientes naturales y plantaciones), así como las plantas útiles usadas en medicina tradicional, para colorantes naturales, extracción de fibras y resinas, y como materiales de construcción (CSPNA 2007). Además, existen vínculos estrechos entre los cultivos agrícolas y las poblaciones silvestres, los cuales se dan por medio del intercambio de material genético que promueven los polinizadores.

En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán se han llevado a cabo

Arias 2000). Por otro lado, los murciélagos del género *Lep- tonycteris* tienen un papel central en la polinización del agave azul, *Agave tequilana*; si bien gran parte de la producción industrial se lleva a cabo con plantas reproducidas asexualmente, la diversidad genética que les confiere la fertilización por medio de estos polinizadores es fundamental para prevenir devastaciones ocasionadas por agentes patógenos (López-Hoffman *et al.*, en prensa).

La regulación de las poblaciones de vectores de enfermedades, así como la probabilidad de su transmisión entre animales o hacia los humanos dependen de la diversidad, abundancia relativa y composición de especies de animales (Ostfeld y Keesing 2000; Díaz *et al.* 2005; Suzan

2005; Peixoto y Abramson 2006). Se están recolectando pruebas que demuestran que a mayor diversidad de animales silvestres es menor la probabilidad de transmisión de estas enfermedades a los humanos. En México se han observado brotes epidémicos (que afectan a un gran número de individuos) y zoonóticos (que afectan a un gran número de especies) de enfermedades como malaria, dengue, leishmaniasis, oncocercosis, lepra, peste bubónica, tripanosomiasis, leptospirosis y diferentes rickettsiosis transmitidas por ectoparásitos de roedores. Estos brotes se han atribuido al aumento en las densidades de especies invasoras, las cuales son frecuentemente los vectores o reservorios de estas enfermedades (Zavala-

diversos estudios (Casas *et al.* 2006; Oaxaca-Villa *et al.* 2006) sobre la polinización y la genética de poblaciones de especies de cactáceas columnares (*Escontria chiotilla*, *Polaskia chende*, *P. chichipe* y *Stenocereus stellatus*), cuyas poblaciones silvestres y cultivadas coexisten. Todos estos estudios han demostrado: 1] que las poblaciones silvestres y cultivadas comparten todos los polinizadores; 2] que las distancias que separan a ambos tipos de poblaciones son más cortas que aquellas que los polinizadores pueden viajar en un día (para el caso de abejas y colibríes) o en una noche (para el caso de los murciélagos), por lo que es improbable que existan barreras espaciales al intercambio de polen de tales poblaciones; 3] que la producción de flores ocurre en tiempos muy similares, por lo que también es improbable que haya barreras temporales a tal intercambio de polen, y 4] que el flujo génico entre poblaciones silvestres y cultivadas es muy elevado y las diferencias genéticas entre estos tipos de poblaciones son muy pequeñas; es decir, las poblaciones silvestres y cultivadas intercambian continuamente información genética entre sí.

El hecho de compartir polinizadores y dispersores de semillas puede determinar que los genes de las poblaciones silvestres continuamente se incorporen a las poblaciones cultivadas, enriqueciendo constantemente la variabilidad genética de los cultivos, proceso al que se le conoce como introgresión (Gepts 1993). En el Valle de Tehuacán, los estudios revelan que las poblaciones cultivadas de las cactáceas columnares analizadas poseen niveles altos de diversidad genética. En el caso de *Stenocereus stellatus*, incluso algunas poblaciones cultivadas poseen mayor diversidad genética que las poblaciones silvestres (Casas *et al.* 2006). Tan alta diversidad se debe en parte a la labor de selección artificial a favor de diversos atributos de las plantas, así como al continuo recambio de individuos que llevan a cabo los campesinos en sus huertos y solares. También se debe a la

continua introducción de genes por medio de polen y semillas provenientes de las poblaciones silvestres. Este proceso constituye otra faceta del servicio de polinización que aportan los ecosistemas naturales a la producción agrícola.

Pero el flujo de genes también ocurre en sentido inverso; es decir, desde las poblaciones cultivadas hacia las silvestres. Este flujo puede ser de gran importancia en aquellas especies en las que las poblaciones cultivadas constituyen reservorios de elevada diversidad genética, como en el caso mencionado de *Stenocereus stellatus*, así como en el caso de *Polaskia chichipe*. En estas especies las poblaciones cultivadas constituyen colecciones de diversidad genética de distintas áreas de la región, pues los campesinos intercambian propágulos de variantes de estas plantas. El contacto entre las poblaciones cultivadas y silvestres, asegurado por polinizadores y dispersores de semillas, en principio desempeña un papel significativo en el mantenimiento general de la diversidad genética de la especie en cuestión (Casas *et al.* 2006). No obstante, otros estudios en la Mixteca baja reportan poblaciones silvestres de *Stenocereus stellatus* muy disminuidas debido a la perturbación de los hábitats naturales, donde coexisten con poblaciones cultivadas de esa especie muy abundantes y diversas (Arias-Cóyotl *et al.* 2006). En ese caso, los autores encontraron que las poblaciones cultivadas son más atractivas para los polinizadores más eficientes (el murciélago *Leptonycteris curasoae*), ya que en ellas se concentra una mayor abundancia de néctar y polen. En estas circunstancias, la frecuencia de visitas de polinizadores y la producción de frutos de los parientes silvestres tuvo una merma significativa (Casas *et al.* 2006). Se ha sugerido que, para ese caso particular, la restauración de poblaciones silvestres y el manejo de poblaciones en áreas perturbadas intermedias entre las poblaciones cultivadas y silvestres podrían amortiguar este efecto.

Velázquez *et al.* 1999; Sánchez-Tejada *et al.* 2001; Peterson *et al.* 2002). Se prevén consecuencias importantes asociadas a brotes de enfermedades, como el síndrome pulmonar hantavirus, debido a que en México se encuentra un gran número de especies potencialmente transmisoras; además, en Estados Unidos se han reportado 438 casos con tasas de mortalidad de hasta 60% (Suzan *et al.* 2001; Suzan 2005; Peixoto y Abramson 2006). Las altas tasas de pérdida de biodiversidad, la destrucción de los ecosistemas naturales, el cambio de uso del suelo, la contaminación del suelo, agua y tierra pueden provocar impactos ecológicos y epidemiológicos impredecibles.

### Regulación de la erosión del suelo

El suelo proporciona una gran variedad de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar de las poblaciones humanas (Daily *et al.* 1997). Los servicios incluyen la moderación del ciclo hidrológico, el soporte físico para las plantas, la retención y oferta de nutrientes para las plantas, el procesamiento de desechos y materia orgánica muerta, el mantenimiento de la fertilidad del suelo (recuadro 4.6), la regulación de los ciclos del agua y de nutrientes, regulación climática y hábitat para una miríada de organismos que realizan algunas de estas funciones (cuadro 4.4). Así, por ejemplo, se estima que el contenido

**RECUADRO 4.6** INDICADORES DE LA CAPACIDAD DE PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS O DE IMPACTOS SEVEROS A ESTA CAPACIDAD: EL CASO DE LA REGULACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Jorge D. Etchevers • Julio Campo

El desarrollo de sistemas de manejo que permitan el mantenimiento de los servicios ecosistémicos se basa en la existencia de indicadores que permitan evaluar la capacidad de los ecosistemas para proveerlos, o en la identificación de grados severos de degradación que impiden su provisión. En el caso de los servicios ecosistémicos asociados al suelo, se han desarrollado múltiples indicadores de la funcionalidad del suelo (Orwin y Wardle 2004; Sumner 2000). Una primera aproximación ha permitido identificar los efectos de la conversión de los bosques, las quemas y la remoción de biomasa vegetal, así como de las diferentes prácticas agrícolas sobre los distintos grupos funcionales que habitan el suelo (cuadro 4.5) (Catovsky *et al.* 2002; Mikola *et al.* 2002; Mikola y

Setälä 1998). Una herramienta más fina es la identificación de aquellos indicadores que han demostrado ser sensibles a los procesos realizados por la biota del suelo (cuadro 4.6). El propósito de estos indicadores es monitorear la capacidad de la biota subterránea para continuar funcionando y contribuyendo a proporcionar servicios ecosistémicos en condiciones que podrían involucrar cambios por procesos naturales o por disturbios humanos (Wardle *et al.* 2004). Por último, un tercer grupo de indicadores, igualmente útiles, sirven para identificar condiciones de degradación química y física del suelo asociadas con deficiencias en la capacidad de provisión de servicios ecosistémicos (cuadro 4.6).

**Cuadro 4.4** Grupos funcionales de organismos del suelo, sus funciones biológicas clave y sus efectos en las prácticas

Grupo funcional	Función biológica	Práctica	Efecto
Microorganismos, meso y macrofauna	Descomposición	Quema, barbecho, herbicidas Forrajeo, alcohados	Negativo Positivo
Biomasa microbiana (principalmente hongos)	Secuestro de carbono	Roza, tumba y quema, alcohados Forrajeo	Negativo Positivo
Fijadores de nitrógeno	Ingreso de nitrógeno	Fertilización	Negativo
Micorrizas	Redistribución de nutrientes y materia orgánica	Barbecho, fertilización	Negativo
Microorganismos y microfauna	Dinámica y conservación de nutrientes	Irrigación, fertilización, quema	Negativo
Raíces, hifas, meso y macrofauna	Estructura del suelo	Quema, irrigación, barbecho	Negativo

Fuente: Wooster y Swift (1997).

de carbono almacenado en el primer metro de suelo es 1.5 veces mayor al acumulado en la biomasa aérea (por encima del suelo), lo que lo convierte en el almacén de carbono más importante entre los sistemas terrestres (Kern y Johnson 1993; Sombroek *et al.* 1993).

El mantenimiento del suelo, y por lo tanto la regulación de su pérdida o erosión, es fundamental para el bienestar de las poblaciones humanas. La capacidad de mantener la provisión del servicio de regulación de la erosión se ve fuertemente modificada por los cambios de uso de suelo y sobre todo por cambios en el tipo de cobertura vegetal para la creación de ecosistemas destinados a la producción agrícola o pecuaria. En particular, prácticas de manejo como el laboreo en el sentido de la

pendiente, cultivos espaciados sin protección del suelo, compactación de este por maquinaria o exceso de carga pecuaria aumentan la propensión del suelo a la erosión (Sumner 2000). La pérdida de biodiversidad vegetal y de microorganismos del suelo (cuadro 4.5) está también relacionada con reducciones en la biomasa subterránea e incrementos en la susceptibilidad a la erosión (Balvanera *et al.* 2006). Además, los cambios de uso de suelo alteran sustancialmente los ciclos biogeoquímicos así como el almacenaje de varios elementos en el suelo (cuadro 4.6). Estos atributos son esenciales para mantener el crecimiento y desarrollo de la plantas (Maass *et al.* 1998), los almacenes de carbono (Lal 2003; Ordóñez *et al.* 2008), la estructura del suelo (Cotler y Ortega-Larrocea 2006), la

**Cuadro 4.5** Indicadores de la calidad del servicio ambiental respecto a la función del ecosistema vinculados con la biota del suelo

Indicador	Calidad del indicador
Relación N:P en los residuos	Confiable
Tasa de descomposición de los residuos	Seguro
Tasa de liberación de N de los residuos	Confiable
Tasa de liberación de P de los residuos	Confiable
Relación N:P en el humus	Seguro
Respiración basal microbiana en el humus	Seguro
Respiración inducida en el humus	Seguro
Biomasa microbiana en el humus	Seguro
Relación bacterias : hongos	Seguro

Nota: seguro = indicador que ofrece certeza; confiable = indicador que da esperanza de alcanzar lo que se desea.

**Cuadro 4.6** Indicadores físicos, químicos y biológicos para monitorear los cambios en el suelo

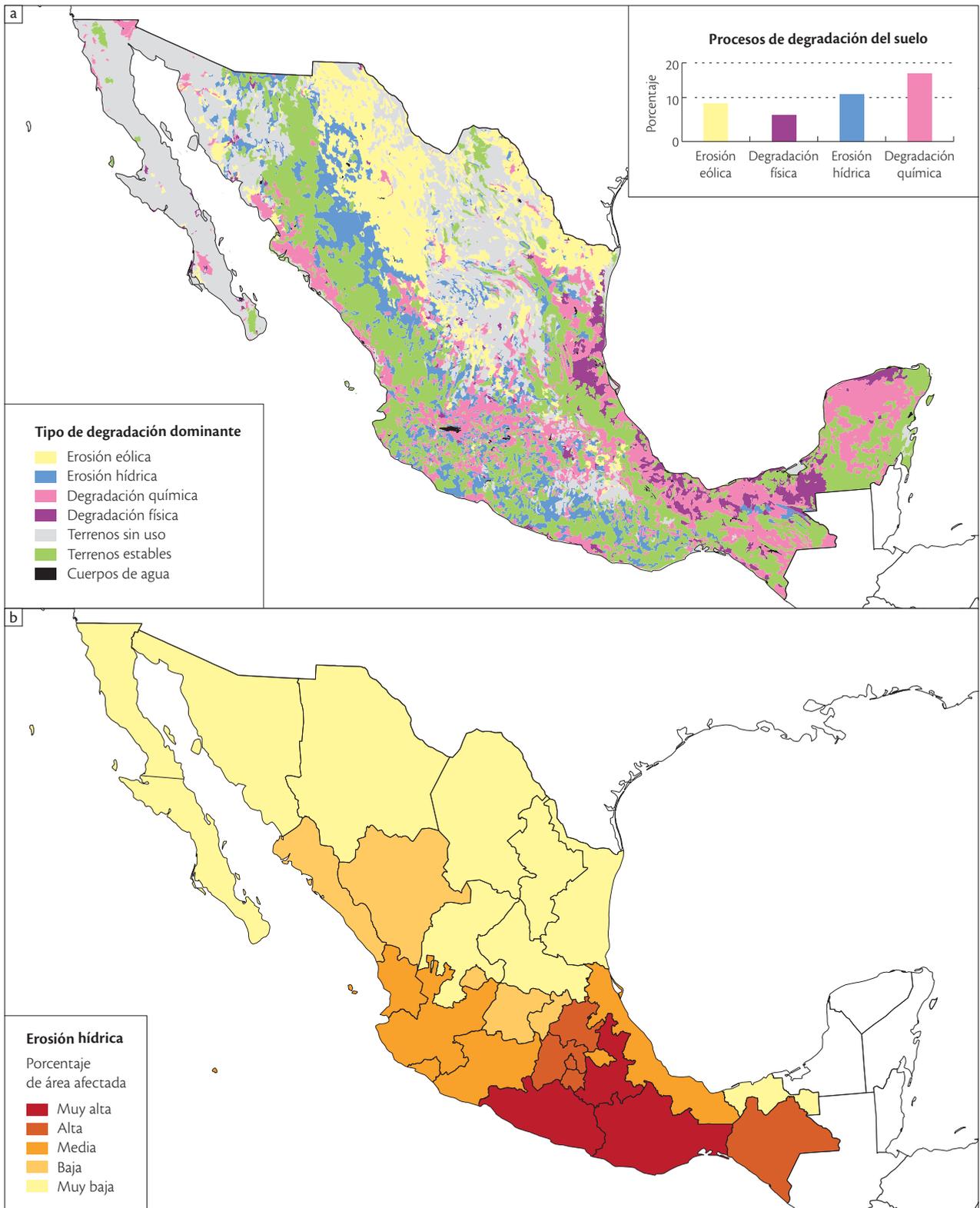
Parámetro	Relación con condición y función	Valores relevantes
<b>Físicos</b>		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos, erosión del suelo	Confiable
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	Confiable
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado, productividad y erosividad	Confiable
Capacidad de retención de agua	Retención de agua, transporte* y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica**	* Seguro ** Confiable
<b>Químicos</b>		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo, estabilidad, erosión	Seguro
pH	Define la actividad química y biológica	Seguro
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	Confiable
P, N y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Seguro (previamente calibrados)
<b>BIOLÓGICOS</b>		
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para C y N, cambios tempranos en los efectos sobre el manejo de la materia orgánica	Seguro
Respiración, humedad y temperatura	Actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C	Seguro
N mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Confiable

Fuentes: Doran y Parkin (1994); Larson y Pierce (1991); Seybold *et al.* (1997).

capacidad de regulación del ciclo hidrológico (Bruijnzeel 2004) y la biodiversidad edáfica.

En el caso de México, algunas técnicas de manejo están ocasionando severos procesos de degradación del suelo que afectan 45% del territorio nacional (Fig. 4.11a). Los principales problemas son la reducción de la fertilidad del suelo (18.3%) y la erosión hídrica (11.4%). Actual-

mente, 25% del país está siendo afectado por procesos de degradación intensos, en especial a causa de las actividades agrícolas y el sobrepastoreo (Fig. 4.11b, c). Los estados del suroeste del país presentan mayor impacto por la erosión hídrica, mientras que los estados del norte están siendo más afectados por la erosión eólica.



**Figura 4.11** [Esta página y la siguiente] Patrones espaciales de las condiciones de erosión y mantenimiento de fertilidad del suelo en México: **(a)** tipo de degradación dominante; **(b)** áreas afectadas (porcentaje del territorio del estado) por erosión hídrica, y **(c)** áreas afectadas (porcentaje del territorio del estado) por erosión eólica. Fuente: Semarnat-Colpos (2003).

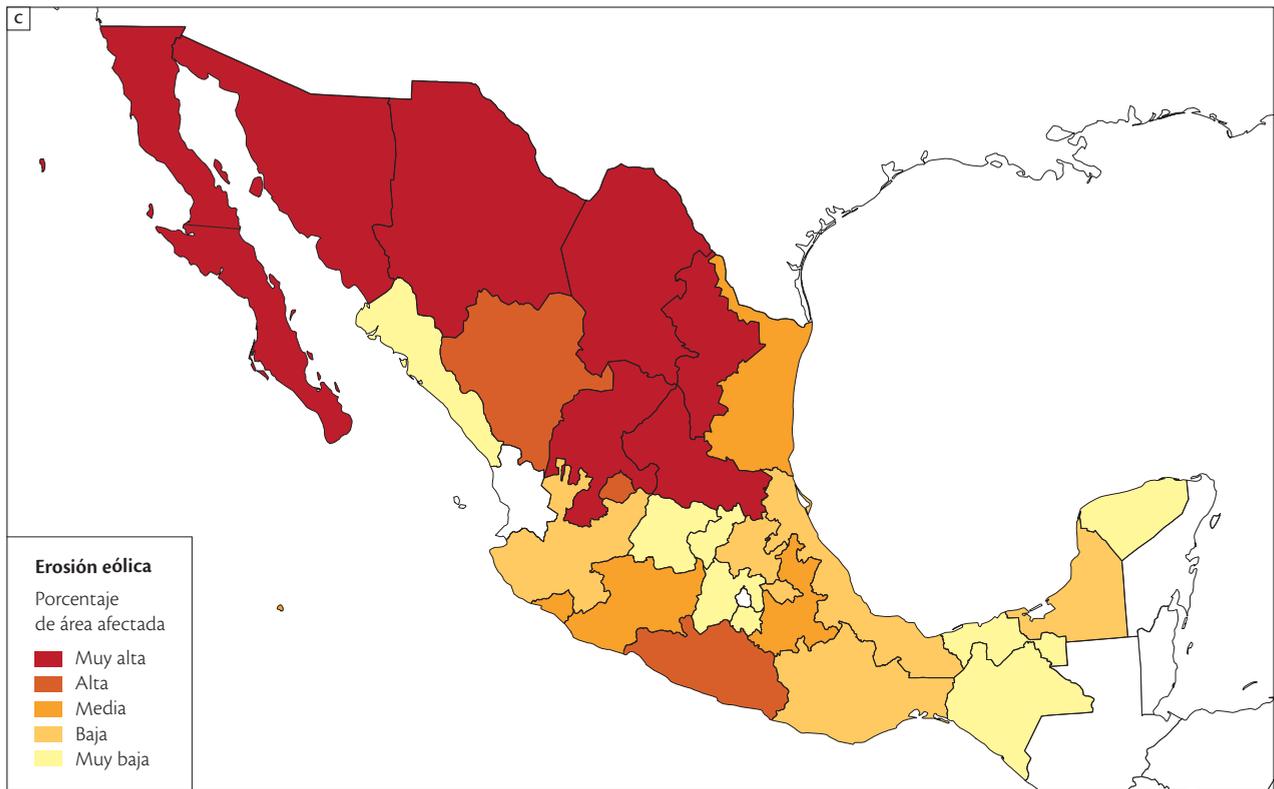


Figura 4.11 [concluye].

### Regulación del clima y de la calidad del aire

Las propiedades físicas de los ecosistemas afectan los flujos de calor, agua y partículas entre ecosistemas terrestres, ecosistemas acuáticos y la atmósfera. Estas propiedades físicas y los flujos asociados tienen influencia sobre el clima (temperatura y precipitación) y la calidad del aire (House *et al.* 2005). Los ecosistemas terrestres pueden ser fuentes o sumideros de gases de efecto invernadero (los cuales afectan la temperatura atmosférica); sus características determinan las tasas de evapotranspiración y por lo tanto los patrones de precipitación regional; además, afectan los patrones de liberación de nutrientes y de partículas a la atmósfera, así como los de depositación (GIECC 2000; IPCC 2002; House *et al.* 2005). El arreglo espacial de los fragmentos de bosque dentro de paisajes agropecuarios, la composición de especies de la vegetación en términos de sus atributos funcionales y el número de especies de plantas afectan la capacidad de los ecosistemas para almacenar carbono (Díaz *et al.* 2005).

En el caso de México, el cambio de uso del suelo y en particular la deforestación tiene efectos importantes so-

bre la regulación climática. En particular, en lo que se refiere a la emisión de gases de efecto invernadero, la deforestación contribuyó con una emisión de 89 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente entre 1993 y 2002; la principal fuente de emisiones de estos gases proviene de la quema de combustibles fósiles; en total, en 1996 se liberaron 643 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (INE 2006).

Por medio de modelos matemáticos, de acuerdo con las proyecciones de emisiones futuras de gases de efecto invernadero, y usando la metodología propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Nakicenovic *et al.* 2000), se pueden predecir los impactos más significativos de los cambios en el clima. En el caso de México se prevé que los mayores impactos ocurrirán en la zona del Golfo de México y en las zonas templadas (INE 1995; Villers y Trejo-Vázquez 1997; Gay 2000; GIECC 2000). El límite latitudinal de los bosques espinosos se desplazaría hacia el sur, principalmente en la vertiente del Pacífico. Se prevé un mayor desplazamiento de elementos con preferencias más cálidas y xéricas; se favorecerían las condiciones para una ampliación en la distribución espacial de comunidades como los bosques

secos y los bosques tropicales caducifolios (con adaptaciones a la aridez). La mayoría de las costas del Golfo de México y el Caribe, por ser bajas, arenosas, con extensos humedales adyacentes y con altitudes de menos de un metro, son la fracción del territorio más vulnerable al ascenso del nivel del mar ante escenarios futuros de cambio climático. Los impactos incluirán inundaciones de poblados, infiltración de aguas salinas en mantos freáticos, inundación de centrales eléctricas costeras (como Tuxpan y Laguna Verde) y la fusión con el mar de lagunas como las de Alvarado y Tamiahua (INE 1995; Gay 2000). Los escenarios de cambio en los patrones climáticos que se proyectan para las décadas futuras exceden la habilidad de muchas especies vegetales y animales de adaptarse mediante estrategias como la migración, cambios en el comportamiento o modificaciones genéticas; estos procesos requieren cientos o miles de años para llevarse a cabo, mientras que los cambios climáticos y sus consecuencias se prevén en plazos menores a un siglo (Martínez y Fernández 2004).

Las actividades humanas han conducido a la liberación en la atmósfera de partículas con efectos negativos potenciales sobre la salud humana y los ecosistemas naturales (House *et al.* 2005). Las principales fuentes de emisiones a la atmósfera son la quema de combustibles fósiles para generación de energía, el funcionamiento de vehículos, así como algunas actividades industriales. Sin embargo, los incendios forestales, la quema de residuos agrícolas y el cambio de uso del suelo pueden también contribuir a estas emisiones. Además, el impacto de contaminantes en el aire no solo se restringe a las zonas donde fueron emitidos, ya que pueden ser transportados a grandes distancias, e incluso en su trayecto pueden ser transformados en otro tipo de contaminantes.

En México, 25 ciudades y zonas urbanas cuentan con datos continuos sobre niveles de contaminantes (monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas de distintos tamaños) que determinan en conjunto la calidad del aire (INE 2005; Gutiérrez, com. pers.). En estas ciudades se observa en general una reducción en los niveles de monóxido de carbono debida mayormente a los avances tecnológicos en la flota vehicular. El ozono es el principal problema para la salud humana en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) y en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) (SMA-GDF 2005). Las partículas suspendidas de mayor tamaño PM10 han disminuido en la ZMCM y la ZMG, pero han aumentado en la zona metropolitana de Monterrey (ZMM). Los incendios forestales ocurridos en

el año 1998 se consideran como uno de los principales causantes del incremento en los niveles de partículas suspendidas en la ZMCM (Tanner *et al.* 2001; Sosa *et al.* 2004; INE 2005), así como en los altos niveles de iones de nitrato en lluvia ácida en muestras de la Península de Yucatán (Cerón *et al.* 2002). Se han reportado efectos negativos de la lluvia ácida en suelos, cuerpos de agua, así como en monumentos históricos y culturales (Bravo *et al.* 2000; Cerón *et al.* 2002). Se han detectado contaminantes emitidos por la ZMCM en regiones contiguas e incluso en la región del Golfo de México (De Foy *et al.* 2006). Asimismo, los altos niveles de dióxido de azufre observados en el Parque Nacional Pico de Orizaba se atribuyen a contaminantes emitidos en la ZMCM, Tlaxcala y Puebla (Márquez *et al.* 2005).

Los datos para otros contaminantes son escasos. En una región de Chiapas se encontraron niveles altos de plaguicidas organoclorados en el aire ambiente, en la zona de los valles centrales de Chiapas, aunque aún se desconoce su impacto sobre la biota (Alegria *et al.* 2006). Los pocos datos sobre mercurio total en el aire muestran niveles elevados en zonas no urbanas (Huejutla, Hidalgo, y Puerto Ángel, Oaxaca), y algunos episodios de niveles altos en la ZMCM; sin embargo, la información disponible es insuficiente para entender los procesos asociados y sus consecuencias (De la Rosa *et al.* 2005).

### Regulación de la respuesta a eventos naturales extremos

En la naturaleza se presentan de forma natural eventos extremos que conducen a cambios drásticos en las condiciones de un sitio o una región dados. Estos eventos incluyen sequías, ciclones, tormentas, erupciones volcánicas o inundaciones. Cuando alguno de estos produce cambios que afectan de manera severa los ecosistemas y el bienestar de las poblaciones humanas que los habitan, se convierte en un desastre (CEPAL 2002; Bravo de Guenni *et al.* 2005). Los ecosistemas terrestres y costeros tienen distintas capacidades de respuesta a la incidencia de estos eventos naturales extremos, dependiendo de sus características físicas y bióticas. Estas características les permiten o les impiden modular los impactos de eventos sobre los ecosistemas mismos, los que los rodean y sobre las poblaciones humanas que ahí habitan. El mantenimiento de condiciones adecuadas del suelo (profundidad, textura y contenido de materia orgánica), de la cobertura vegetal (tanto en las partes altas de las montañas como a lo largo de los ríos y de las cos-

tas), de los humedales y de los lagos es fundamental para regular las inundaciones (Bravo de Guenni *et al.* 2005). La presencia de manglares, lagunas costeras y arrecifes coralinos modula el impacto de los huracanes en las zonas costeras (Bravo de Guenni *et al.* 2005; Agardy *et al.* 2006). Además se ha planteado que, en general, sistemas más diversos son más estables, es decir, que hasta cierto grado resisten y se recuperan más rápido del embate de eventos extremos (Bravo de Guenni *et al.* 2005; Díaz *et al.* 2006).

En México no se cuenta con datos que permitan relacionar los cambios en las condiciones físico-bióticas de los ecosistemas terrestres y costeros con incrementos en la vulnerabilidad frente a eventos extremos. Los eventos climatológicos extremos han causado numerosos desastres, con daños apreciables para la población y la economía (Bitrán 2001; Cenapred 2005). Se estima que en los últimos 24 años han perdido la vida unas 3 170 personas, lo que equivale a un promedio de casi 132 personas por año. Los daños respectivos han superado los 5 000 millones de dólares, lo que equivale aproximadamente a unos 232 millones de dólares anuales, en promedio, a precios actuales. El aumento en la frecuencia y en las consecuencias negativas de eventos hidrometeorológicos extremos parece estar relacionado con el deterioro de los ecosistemas naturales; esto fue particularmente patente en 2005, cuando sufrimos los embates de los huracanes Emily, Stan y Wilma (Fig. 4.12a, b, c). En el caso de Motozintla, Chiapas, por ejemplo, los deslaves fueron más marcados en áreas desprovistas de cobertura vegetal que en aquellas protegidas por la cobertura vegetal boscosa (CONABIO 2006).

La presencia de condiciones adecuadas de suelo, cobertura vegetal, humedales, manglares (recuadro 4.7 y cuadro 4.7), lagunas costeras y arrecifes coralinos es particularmente importante para mitigar los impactos de los eventos naturales extremos en el caso de las zonas que están más expuestas a estos fenómenos. Algunas zonas de las costas del Pacífico y del Golfo están expuestas a embates de huracanes (Fig. 4.13). Por otro lado, los estados más afectados por las lluvias torrenciales han sido históricamente los de México, Tlaxcala y Oaxaca (Cenapred 2005).

Los eventos naturales extremos pueden tener además consecuencias secundarias que no son perceptibles en el corto plazo, ni en los alrededores cercanos a los sitios afectados. En particular, la erosión asociada a estos eventos conlleva costos ambientales y económicos importantes (CONABIO 2006).

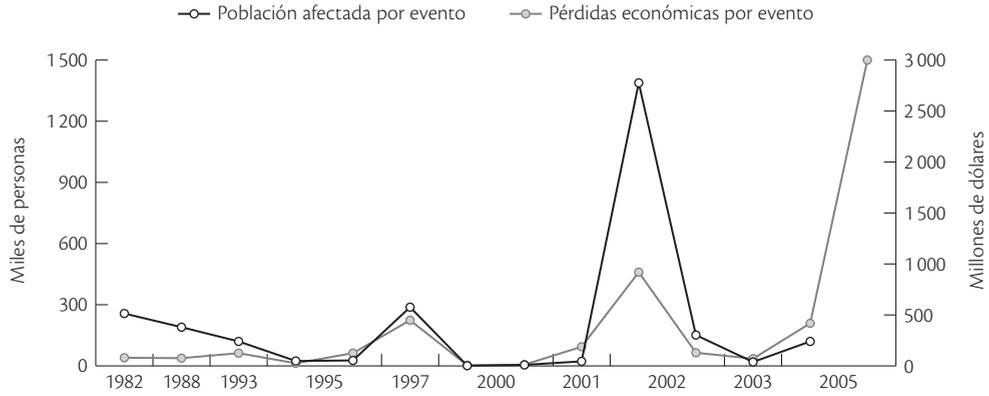
### 4.3.3 Servicios culturales

Los servicios culturales son el resultado de la evolución a lo largo del tiempo y del espacio de la relación entre los seres humanos y la naturaleza que los rodea; como resultado, las culturas humanas están muy influenciadas por los ecosistemas que habitan y viceversa. Los servicios culturales abarcan tanto los aspectos materiales (las plantas, los animales, el agua, el suelo) como los aspectos intangibles (seguridad, belleza, espiritualidad, recreación cultural y social para las poblaciones); también abarcan el conocimiento, las percepciones y los sistemas de clasificación de su entorno natural (Balvanera y Prabhu 2004; De Groot *et al.* 2005; Lazos Chavero 2006).

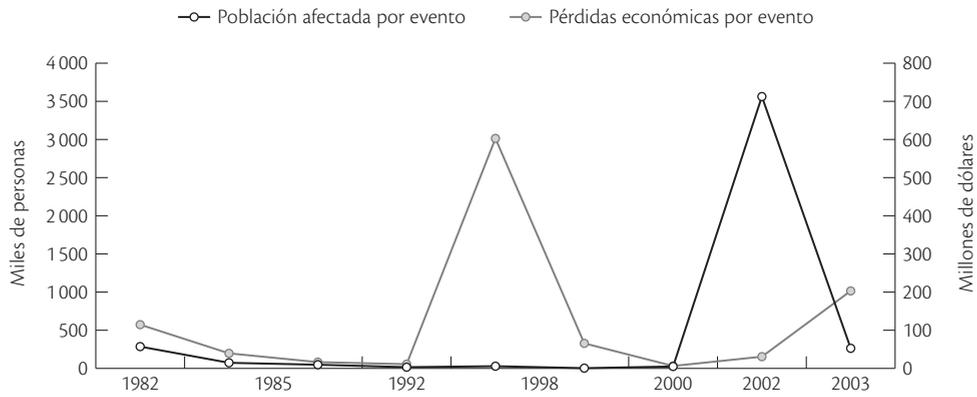
En México, la gran riqueza biológica y cultural está asociada con numerosos servicios. Usos, recursos y significados se entrelazan dinámicamente en las diversas culturas, lo que conforma un sinnúmero de servicios culturales posibles. El significado y la valoración de cada servicio, determinados por la propia cultura donde este se enmarca, son distintos en las diferentes regiones del país. En algunas culturas, el uso del copal será fundamental para la realización de ceremonias y la comunicación con sus antepasados; en otras, la venta de un bejuco será determinante para su economía familiar. Incluso la misma especie puede tener significados y usos distintos en diversas culturas. Así, entre los mestizos de Balzapote, Veracruz, el guayabo (*Psidium guajava*) tiene hasta 10 usos (Lazos Chavero y Álvarez-Buylla 1988), mientras que los nahuas de Tatahuicapan, Veracruz, solo le atribuyen cuatro usos (Godínez y Lazos 2003). Para algunas sociedades conservar un bosque puede ser considerado como un valor fundamental, incluso para lograr la reproducción simbólica de dicha sociedad; en cambio, para otras, un bosque significa un obstáculo para el desarrollo de la sociedad (Barrera *et al.* 1977; Lazos Chavero 1996; Godínez y Lazos 2003). Entre los mayas-yucatecos, el *tólche'* (vegetación dejada a lo largo de los caminos) debe conservarse siempre pues ahí moran los pequeños dueños del monte, quienes cuidarán los caminos y las milpas cultivadas; en cambio, los ganaderos nahuas de Pajapan buscan maximizar el terreno agropecuario frente a la escasez de tierras y tumban toda la vegetación de su parcela, incluso la de los bordes, con el fin de empastar (Rico-Gray *et al.* 1985; Sanabria 1986; Lazos Chavero y Paré 2000).

En el caso de la fauna silvestre, los servicios culturales que proporciona se reflejan en la cosmovisión y esencia misma de numerosas culturas prehispánicas y contemporáneas de

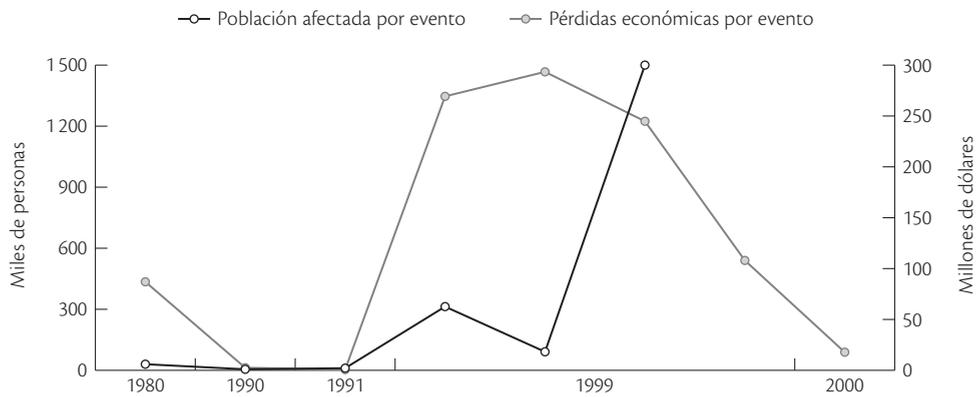
**a) Ciclones tropicales**



**b) Lluvias torrenciales**



**c) Inundaciones**



**Figura 4.12** Patrones temporales de los eventos naturales extremos asociados a desastres en México de acuerdo con el número de habitantes afectados y los costos económicos. Fuente: Cenapred (2005).

**RECUADRO 4.7** VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: EL CASO DE LOS MANGLARES

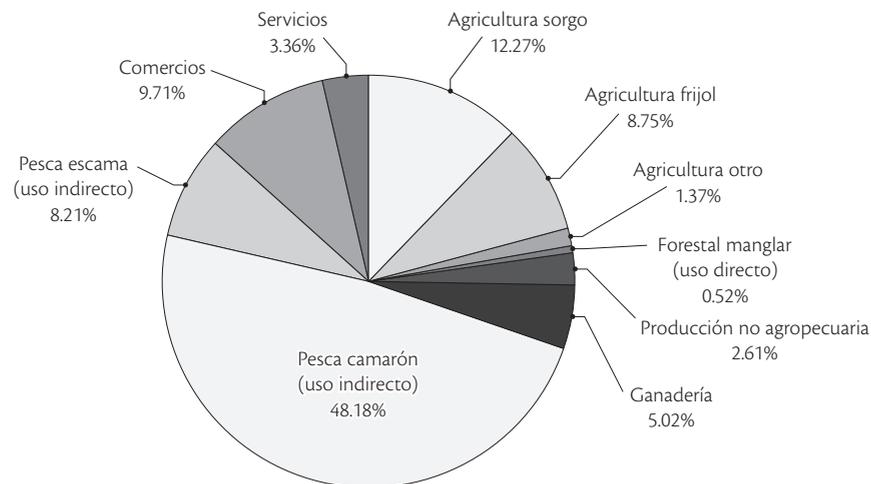
Alejandro Guevara

La valoración de los servicios ecosistémicos es una herramienta útil para dar a conocer su importancia (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Tradicionalmente se conoce el valor económico de aquellos productos que tienen un mercado, que son comerciables, los cuales son fundamentalmente servicios de provisión. Sin embargo, los ecosistemas proporcionan un abanico de servicios de regulación y culturales, que no tienen un precio establecido. Al incorporarlos en un ejercicio de valoración es posible evaluar su importancia relativa.

En el caso de los manglares de la costa noroeste del país, estos proporcionan una serie de servicios ecosistémicos que incluyen: 1] criaderos para muchas especies de crustáceos, peces y moluscos de interés comercial como el camarón; 2] hábitats de diferentes especies de mamíferos, aves, peces e invertebrados, algunas de las cuales se encuentran amenazadas o en peligro de extinción; 3] regulación de flujos hídricos estacionales al retener el agua y liberarla lentamente; 4] regulación de la calidad del agua al extraer de ella sedimentos, sal, nutrientes y sustancias tóxicas; 5] regulación climática al capturar carbono atmosférico, y 6] belleza escénica, que promueve la actividad ecoturística en la zona (Agardy *et al.* 2006). El valor económico de los manglares va más allá del valor de mercado de los servicios comerciales que

otorgan, es decir, muchos de sus servicios no tienen precio establecido. Las decisiones que determinan el manejo de los bosques de mangle, así como de los otros tipos de capital natural, deben, por tanto, considerar el valor económico total (VET) de los servicios que proporciona. El VET es la suma de dos tipos de valores: los valores de uso activo y los valores de uso pasivo (Azqueta 1994; Azqueta y Pérez 1996; Barbier *et al.* 1997; Pearce 1993). Los valores de uso activo dependen del empleo real y concreto del recurso natural en cuestión. Los valores de uso pasivo, que incluyen los valores de opción y los valores de existencia, consideran el valor intrínseco de su sola existencia (cuadro 4.7).

En general, los manglares representan para muchas familias asentadas en las zonas costeras una fuente de productos e ingresos para su subsistencia. Tal es el caso del ejido de Mexcaltitán, Nayarit. Por medio de la construcción de una matriz de contabilidad social se pudo estimar el valor de uso directo del bosque de mangle para la comunidad (Guevara *et al.* 2005). Entre los resultados obtenidos se encuentra la composición porcentual del PIB ejidal. La aportación por el uso directo del manglar es de 2%, sin embargo, al considerar su aportación indirecta, fundamental para la pesca artesanal, se ve su importancia económica, que representa hasta 56% del incremento anual de la riqueza del pueblo (Fig. 1).



**Figura 1** Composición del ingreso ejidal en el ejido de Mexcaltitán, Nayarit, en 2004 y su relación con los servicios ecosistémicos que brinda el manglar. Fuente: Guevara *et al.* (2005).

**Cuadro 4.7** Valor económico total del manglar: estructura y cifras representativas

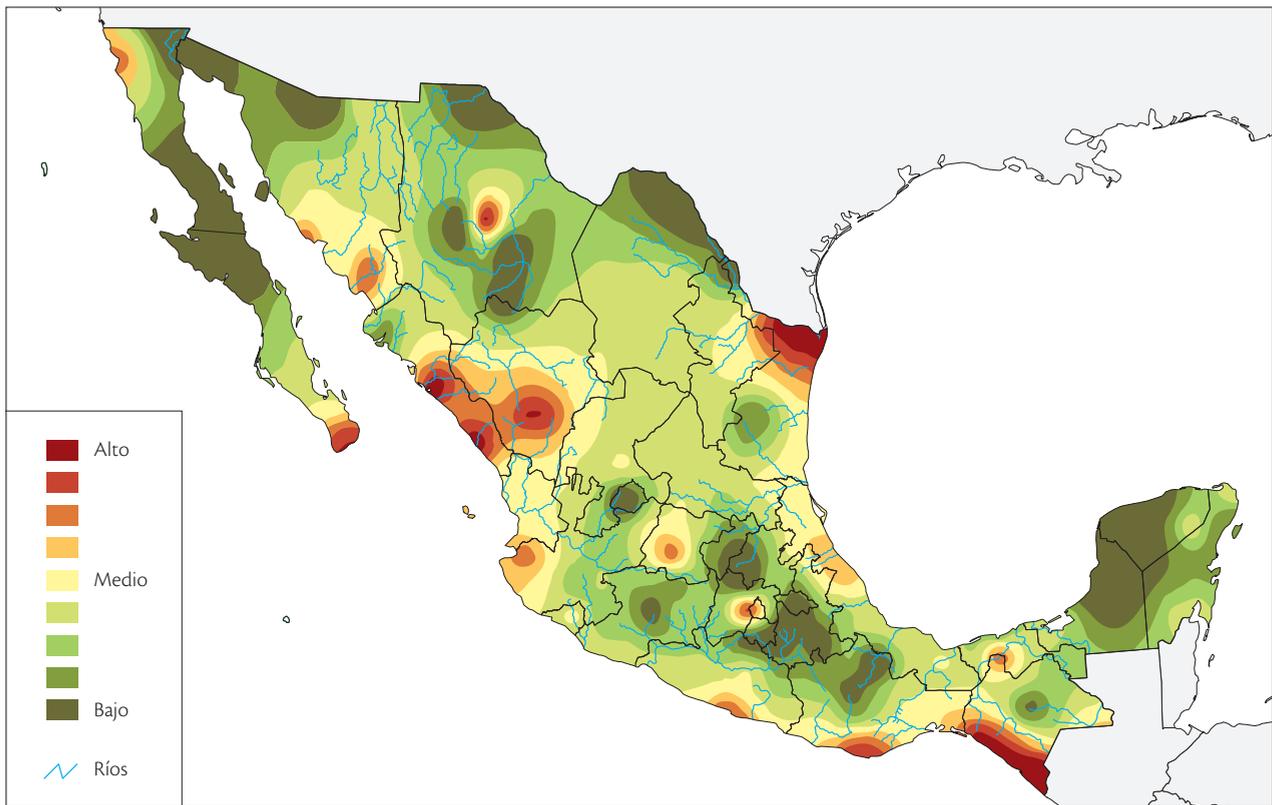
Usos activos			Usos pasivos
Usos presentes		Usos futuros	Existencia/herencia
Directo	Indirecto	Opción	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Extractivos</b> Madera, leña y medicamentos. Considerando planes de manejo forestal y precios en patio para los ejidos de San Blas y Mexcaltitán, se calcula una ganancia promedio anual de 0.4 y 1.6 millones de pesos al año, respectivamente, solo por la venta autorizada de madera comercial.</li> <li>• <b>No extractivos</b> Ecoturismo y recreación. Los prestadores de servicios turísticos en San Blas manifiestan una disposición a pagar 72 000 pesos al año por uso y conservación de los canales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pesquerías dependientes del manglar</b> El valor del servicio de protección de pesquerías es de 100 dólares por hectárea para Marismas Nacionales, Nayarit.</li> <li>• <b>Filtrado de aguas residuales</b> Para la Laguna de Términos en Campeche, el costo de operación anual de una planta de tratamiento es de 150 dólares por hectárea.</li> <li>• <b>Amortiguamiento de tormentas</b></li> <li>• <b>Fijación de nitrógeno</b></li> <li>• <b>Captura de carbono</b> El contenido promedio de carbono en Mexcaltitán es de 89.8 MgC ha<sup>-1</sup>. El servicio de captura de carbono ofrecido por los bosques de mangle se podría traducir en una ganancia de 1 000 dólares por hectárea.</li> <li>• <b>Pesca ribereña</b> En Mexcaltitán, los pescadores estarían dispuestos a pagar hasta 1 400 pesos al año para la conservación de una hectárea de manglar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reservorio de recursos genéticos para el desarrollo de nuevos medicamentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores culturales, religiosos y éticos.</li> <li>• Se deben evitar cambios irreversibles (extinción).</li> </ul>

Fuentes: Guevara *et al.* (2005); Lal (1990); Sanjurjo (2005); Sanjurjo *et al.* (2005); UIA (2005); Valdés y Valdez (2005).

nuestro país. La fauna ha sido fuente de inspiración para múltiples expresiones culturales como pintura, danza, cantos, textiles, gastronomía, ritos, mitos, creencias, y hasta la toponimia y los símbolos patrios. En el contexto de los servicios culturales de la fauna silvestre se entremezclan además aspectos estéticos, recreativos, educativos y económicos (Amacup 1997, 1998; Hernández 1999; Martínez y Salazar 2000; Arroyo-Quiroz 2003; Nabhan 2003; Masera *et al.* 2005).

En términos generales, la tendencia al abandono de las actividades agropecuarias por miles de familias campesinas lleva aparejada el desarraigo de creencias, costumbres e instituciones, lo que desestructura la organización comunitaria necesaria para lograr la conservación de los recursos naturales. Los casos son múltiples, desde los nahuas y popolucas de la Sierra de Santa Marta, Veracruz (Lazos Chavero y Paré 2000), hasta los tojolabales y cholles migrantes en las selvas en Chiapas (Carabias 2005). Por otro lado, existen comunidades donde a pesar de las elevadas tasas de migración, las creencias, costumbres e instituciones se han fortalecido entre migrantes y resi-

dentos en ciclos continuos de vaivenes, y donde la conservación de los recursos naturales es prioritaria. Hay ejemplos de comunidades que tienden a armonizar conservación y desarrollo, aun en condiciones de alta vulnerabilidad, como los ejidos colectivos del sur de Quintana Roo, las comunidades de la Sierra Norte de Juárez en Oaxaca con el manejo de bosques, los ejidos tejedores de palma en Guerrero, las comunidades cafetaleras nahuas de la Sierra Norte de Puebla (Merino y Alatorre 1997). Por tanto, existe una alta variabilidad de situaciones para los servicios culturales. Sin embargo, para mantener estos servicios se debe lograr sostener natural y socioeconómicamente los sistemas campesinos a la par que superar la pobreza y promover su participación social. Es posible encontrar desde poblaciones muy desorganizadas con bajos o altos índices de migración y de marginación hasta poblaciones sumamente organizadas con altos índices de migración, o poblaciones organizadas con bajos índices de migración y altos índices de marginación. En Los Chimalapas, Oaxaca, por ejemplo, existen bajos índices de migración comparados con los de la



**Figura 4.13** Patrones espaciales de vulnerabilidad a eventos naturales extremos en México: el caso de las inundaciones.

Fuente: Cenapred (2005).

Mixteca y, a pesar de múltiples conflictos, las comunidades han logrado constituir pequeñas reservas comunitarias. En cambio, en la Mixteca, algunas comunidades, como Intundungia, han logrado conservar su entorno natural a pesar de las altas tasas de migración, mientras que en otras, como Santiago Nuyóo, las comunidades han perdido instituciones locales para lograr consensos con respecto a la conservación de sus bosques (Lazos y Espinosa 2003).

#### 4.4 RELACIONES COMPLEJAS ENTRE SERVICIOS

El manejo de un ecosistema para promover la obtención de un servicio ecosistémico en particular, o el consumo de este servicio, puede tener consecuencias negativas sobre la capacidad de provisión de otros servicios (cuadro 4.8a y b). Estas interacciones pueden estar desfasadas en el tiempo (cuando una acción tiene consecuencias mucho tiempo después) y en el espacio (cuando los efectos se observan en regiones alejadas del sitio donde se tomó una decisión en particular) (Rodríguez *et al.* 2006).

En el caso de México, la expansión de las fronteras agrícola y ganadera, así como la intensificación de su producción, han sido los principales mecanismos para aumentar la producción de alimentos y satisfacer las necesidades de alimentación de la población; sin embargo, este fenómeno ha sido también el principal motor de la degradación ambiental (CONABIO 2006). La relación entre la promoción de las actividades agropecuarias y sus efectos negativos sobre varios servicios ecosistémicos ha sido ampliamente estudiada en México. En general, los programas gubernamentales dirigidos a donar tierras a los campesinos desprovistos de estas, así como aquellos dirigidos a fomentar la actividad ganadera, promovieron la deforestación de los bosques tropicales del país entre 1960 y 1980; en la región de Los Tuxtlas estos programas y la adopción de la ganadería como herramienta para superar la pobreza contribuyeron a la deforestación de 80% de las selvas húmedas de la región (Durand y Lazos 2004). Durante ese periodo se perdieron hasta 800 000 hectáreas por año: a la fecha solo queda 17% de las selvas húmedas y 26% de las selvas secas del país (véase el capítulo 1 de este volumen). Esta pérdida de hábitat y su fragmentación están

**Cuadro 4.8a** Principales interacciones —y su carácter positivo o negativo— de los servicios ecosistémicos identificadas en la literatura global, que pueden ser aplicadas al caso de México

Servicio afectado		Servicio causante del efecto									
		En provisión					En provisión y regulación				
Servicio afectado		Alimentos derivados de la agricultura	Alimentos derivados de la ganadería	Alimentos derivados de la pesca	Alimentos derivados de la acuicultura	Madera	Leña	Recursos diversos	Agua (cantidad y calidad)		
<b>En provisión</b>	Alimentos derivados de la agricultura		●							□	
	Alimentos derivados de la ganadería	●								□	
	Alimentos derivados de la pesca	●		●							
	Alimentos derivados de la acuicultura	●									
	Madera	●									
	Leña	●	●								
	Recursos diversos	●	●	●	●	△	△	△		●	
	Agua (cantidad y calidad)	●	●		●	△				●	
	Biodiversidad	●	●	●	●	△	△	△		●	
	Plagas, vectores de enfermedades y polinización	●	●			△		△		●	
<b>En regulación</b>	Erosión	●	●			△				●	
	Clima y calidad del aire	●	●				△			●	
	Respuesta a eventos naturales extremos	●	●		●	△				●	

Fuentes: Agardy *et al.* (2006); Beman *et al.* (2005); Bravo de Guenni *et al.* (2005); Cairns *et al.* (2000); Cassmann *et al.* (2005); Cenapred (2005); Díaz *et al.* (2005); Durand y Lazos (2004); Falkenmark (2003); Finlayson *et al.* (2005); Helfman *et al.* (1997); House *et al.* (2005); Kremen *et al.* (2002); Landa *et al.* (1997); Lavelle *et al.* (2005); Maass *et al.* (2005); Morales *et al.* (2008); OCDE (2008); Riley *et al.* (2001); Rodríguez *et al.* (2006); Sala *et al.* (2005); Sampson *et al.* (2005); Sánchez-Cordero *et al.* (2005); Shvidenko *et al.* (2005); UNEP (2006); Vörösmarty *et al.* (2005); Wood *et al.* (2005).

Nota: las figuras geométricas indican el carácter de la interacción: □ = positivo, △ = moderadamente negativo, ● = fuertemente negativo.

**Cuadro 4.8b** Principales interacciones —y sus efectos— de los servicios ecosistémicos identificadas en la literatura global, que pueden ser aplicadas al caso de México

Servicio afectado		Efecto	Interacción
<b>EN LA PROVISIÓN DE ALIMENTOS DERIVADOS DE LA AGRICULTURA</b>			
P	Alimentos derivados de la ganadería	La siembra de forrajes compite con la agricultura por superficie.	Fuertemente negativa
	Alimentos derivados de la pesca	Los fertilizantes conducen al incremento de N en cuerpos de agua y en casos extremos a la muerte de peces.	
	Alimentos derivados de la acuicultura	Los fertilizantes conducen al incremento de N en cuerpos de agua y en casos extremos a la muerte de peces.	
	Madera	La expansión de la frontera agrícola/ganadera reduce la cobertura de bosques y de los ecosistemas con elementos leñosos.	
	Leña		
Recursos diversos	La expansión de la frontera agrícola conduce a cambios de uso del suelo y pérdida de biodiversidad y de recursos derivados.		
P-R	Agua (cantidad y calidad)	El riego consume 70% del agua disponible. El cambio en la cobertura vegetal disminuye la calidad del suelo para regular el ciclo hidrológico. El uso de fertilizantes y plaguicidas reduce la calidad del agua.	
R	Biodiversidad	La extensión de la frontera agrícola/ganadera conduce a cambios de uso del suelo y pérdida de biodiversidad.	
	Plagas, vectores de enfermedades y polinización	El uso de plaguicidas y herbicidas afecta las poblaciones de polinizadores. La reducción de la biodiversidad en paisajes agrícolas afecta el mantenimiento de enemigos naturales de plagas y vectores de enfermedades.	
	Erosión	La remoción o quema de la cobertura vegetal original disminuyen la capacidad del suelo para regular el ciclo hidrológico, promueven la erosión y disminuyen los almacenes y el mantenimiento de la fertilidad.	
	Clima y calidad del aire	La expansión de la frontera agrícola provoca la liberación de CO <sub>2</sub> (GEI). El uso de fertilizantes contribuye a la emisión de N <sub>2</sub> O (GEI).	
	Respuesta a eventos naturales extremos	Los cambios del uso de suelo provocan disminución de la capacidad de este para regular el ciclo hidrológico, lo que ocasiona inundaciones y el arrastre de sedimentos, y reducciones en la biodiversidad, con lo que disminuye la capacidad para responder a eventos extremos.	
<b>EN LA PROVISIÓN DE ALIMENTOS DERIVADOS DE LA GANADERÍA</b>			
P	Alimentos derivados de la agricultura	La siembra de cultivos compite con la de forrajes por superficie.	Fuertemente negativa
	Madera	La expansión de la frontera agrícola/ganadera reduce la cobertura de bosques y de los ecosistemas con elementos leñosos.	
	Leña		
Recursos diversos	La expansión de la frontera agrícola conduce a cambios de uso del suelo y pérdida de biodiversidad y de recursos derivados.		
P-R	Agua (cantidad y calidad)	La ganadería consume grandes volúmenes de agua. El cambio en la cobertura vegetal disminuye la calidad del suelo para regular el ciclo hidrológico.	
R	Biodiversidad	La extensión de la frontera agrícola/ganadera conduce a cambios de uso del suelo y pérdida de biodiversidad.	
	Plagas, vectores de enfermedades y polinización	La reducción de la biodiversidad en paisajes pecuarios afecta el mantenimiento de enemigos naturales de plagas y vectores de enfermedades.	
	Erosión	La remoción o quema de la cobertura vegetal original disminuyen la capacidad del suelo para regular el ciclo hidrológico, promueven la erosión y disminuyen los almacenes y el mantenimiento de la fertilidad.	
	Clima y calidad del aire	El ganado emite NH <sub>4</sub> (GEI). La deforestación provoca liberación de CO <sub>2</sub> .	
	Respuesta a eventos naturales extremos	Los cambios de uso del suelo provocan disminución de la capacidad de este para regular el ciclo hidrológico, lo que ocasiona inundaciones y el arrastre de sedimentos, y reducciones en la biodiversidad, con lo que disminuye la capacidad para responder a eventos extremos.	

Cuadro 4.8b [continúa]

Servicio afectado		Efecto	Interacción
<b>EN LA PROVISIÓN DE ALIMENTOS DERIVADOS DE LA PESCA</b>			
P	Alimentos derivados de la pesca	La sobreexplotación y el manejo inadecuado de recursos marinos conducen al colapso de las poblaciones de especies útiles y de ecosistemas marinos.	Fuertemente negativa
	Recursos diversos	La introducción de especies y la transformación de lagunas costeras y manglares afectan el mantenimiento de la biodiversidad acuática y marina y de recursos asociados.	
R	Biodiversidad	La sobreexplotación de recursos pesqueros y la pesca de fondo conducen a pérdida de biodiversidad.	
<b>EN LA PROVISIÓN DE ALIMENTOS DERIVADOS DE LA ACUICULTURA</b>			
P	Alimentos derivados de la pesca	La transformación de lagunas costeras y manglares altera hábitats fundamentales para la reproducción de recursos marinos.	Fuertemente negativa
	Recursos diversos	La introducción de especies y la transformación de lagunas costeras y manglares afectan el mantenimiento de la biodiversidad acuática y marina y de recursos asociados.	
P-R	Agua (cantidad y calidad)	El uso de antibióticos y de alimentos para peces, así como la introducción de carpas y tilapias reducen la calidad del agua.	
R	Biodiversidad	La acuicultura afecta el mantenimiento de la biodiversidad acuática y marina.	
	Respuesta a eventos naturales extremos	La transformación de lagunas costeras y manglares disminuye su capacidad para modular respuestas frente a huracanes.	
<b>EN LA PROVISIÓN DE MADERA</b>			
P	Recursos diversos	La explotación forestal clandestina, el manejo inadecuado y la sobreexplotación de leña conducen a la pérdida de biodiversidad.	Moderadamente negativa
P-R	Agua (cantidad y calidad)	La explotación forestal clandestina o sin manejo adecuado provoca cambios de uso del suelo, que disminuyen la calidad de este para regular el ciclo hidrológico.	
R	Biodiversidad	La explotación forestal clandestina, el manejo inadecuado y la sobreexplotación de leña conducen a la pérdida de biodiversidad.	
	Plagas, vectores de enfermedades y polinización	La reducción de la biodiversidad en paisajes con explotación forestal clandestina o manejo inadecuado afecta el mantenimiento de enemigos naturales de plagas y vectores de enfermedades.	
	Erosión	La explotación forestal clandestina y el manejo inadecuado provocan cambios de uso del suelo que disminuyen la capacidad de este para regular el ciclo hidrológico, promueven la erosión y disminuyen los almacenes y el mantenimiento de la fertilidad.	
	Respuesta a eventos naturales extremos	La explotación forestal clandestina y el manejo inadecuado provocan cambios de uso del suelo y la disminución de la capacidad de este para regular el ciclo hidrológico, lo que ocasiona inundaciones y el arrastre de sedimentos, y reducciones en la biodiversidad; todo ello disminuye la capacidad para responder a eventos extremos.	
<b>EN LA PROVISIÓN DE LEÑA</b>			
P	Recursos diversos	La explotación forestal clandestina, el manejo inadecuado y la sobreexplotación de leña conducen a la pérdida de biodiversidad.	Moderadamente negativa
R	Biodiversidad	La explotación forestal clandestina, el manejo inadecuado y la sobreexplotación de leña conducen a la pérdida de biodiversidad.	
	Clima y calidad del aire	La quema de leña contribuye a la liberación de partículas dañinas para la salud.	
<b>EN LA PROVISIÓN DE RECURSOS DIVERSOS</b>			
P	Recursos diversos	La sobreexplotación de recursos diversos conduce a la pérdida de biodiversidad y de recursos asociados. La extracción de suelo afecta a todo el ecosistema.	Moderadamente negativa
R	Biodiversidad	La sobreexplotación de recursos diversos conduce a pérdida de biodiversidad.	
	Plagas, vectores de enfermedades y polinización	La sobreexplotación de recursos diversos conduce a pérdida de biodiversidad y cambios en la regulación de interacciones bióticas.	

**Cuadro 4.8 b** [concluye]

Servicio afectado		Efecto	Interacción
<b>EN LA PROVISIÓN Y REGULACIÓN DE AGUA (CANTIDAD Y CALIDAD)</b>			
P	Alimentos derivados de la agricultura	Riego.	Positiva
	Alimentos derivados de la ganadería	Riego.	
	Recursos diversos	La construcción de presas, el consumo de agua y las reducciones de la calidad de esta provocan pérdida de biodiversidad acuática, riparia y marina y de recursos asociados.	Fuertemente negativa
P-R	Agua (cantidad y calidad)	Usos del agua río arriba y su contaminación disminuyen la cantidad disponible y la calidad río abajo.	
R	Biodiversidad	La construcción de presas, el consumo de agua, y las reducciones de la calidad de esta provocan pérdida de biodiversidad acuática, marina y de la vegetación riparia/costera.	
	Erosión	La construcción de presas provoca cambios en la capacidad de almacenamiento de agua, su temporalidad y el transporte de sedimentos.	
	Clima y calidad del aire	La construcción de presas provoca cambios en la evapotranspiración y modifica los intercambios de energía. El consumo de agua provoca desecación de cuerpos de agua y desertificación, y promueve la liberación de partículas en el aire.	
	Respuesta a eventos naturales extremos	La construcción de presas y el consumo de agua provocan cambios en la capacidad del suelo y de los cuerpos de agua para almacenar agua.	

Fuentes: Agardy *et al.* (2006); Beman *et al.* (2005); Bravo de Guenni *et al.* (2005); Cairns *et al.* (2000); Cassmann *et al.* (2005); Cenapred (2005); Díaz *et al.* (2005); Durand y Lazos (2004); Falkenmark (2003); Finlayson *et al.* (2005); Helfman *et al.* (1997); House *et al.* (2005); Kremen *et al.* (2002); Landa *et al.* (1997); Lavelle *et al.* (2005); Maass *et al.* (2005); Morales *et al.* (2008); OCDE (2008); Riley *et al.* (2001); Rodríguez *et al.* (2006); Sala *et al.* (2005); Sampson *et al.* (2005); Sánchez-Cordero *et al.* (2005); Shvidenko *et al.* (2005); UNEP (2006); Vörösmarty *et al.* (2005); Wood *et al.* (2005).

GEI = gas de efecto invernadero.

P = provisión.

R = regulación.

asociadas a reducciones importantes en el rango de distribución de múltiples especies; se sabe que el área de distribución de algunas especies de mamíferos endémicos se redujo hasta en 90% (Sánchez-Cordero *et al.* 2005). La deforestación, junto con el manejo agropecuario inadecuado, también conduce a la erosión y la degradación de los suelos; en el caso de la región de la Montaña de Guerrero, la combinación entre la estacionalidad de la escasa precipitación, la topografía accidentada, los suelos frágiles, la vegetación abierta y de lento crecimiento y la elevada marginación social han contribuido a que 13% de la superficie presente condiciones de degradación severa, y otro 36% tenga gran riesgo de presentar dicha degradación (Landa *et al.* 1997). La deforestación en México también tiene consecuencias negativas sobre la regulación climática: se liberaron al menos 280 millones de toneladas de carbono entre 1992 y 1997 (Cairns *et al.* 2000). Otros efectos negativos de la expansión de la frontera agropecuaria incluyen reducciones en la recarga de acuíferos, la calidad del agua y la respuesta de los ecosis-

temas a eventos naturales extremos, los cuales aún no han sido cuantificados (cuadro 4.8a y b).

La intensificación de la actividad agrícola también conlleva importantes consecuencias negativas sobre varios servicios ecosistémicos. La agricultura intensiva requiere el uso de riego, fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, los cuales tienen consecuencias negativas sobre la disponibilidad de agua, el mantenimiento de la biodiversidad, la calidad del agua, la regulación climática y la salud humana. La demanda de agua por parte de la agricultura en México excede la disponibilidad y el número de acuíferos sobreexplotados en México pasó de 32 en 1975 a 102 en 2005 (OCDE 2008). En el país, el superávit de nitrógeno y fósforo es bajo con respecto a otros países miembros de la OCDE (CEPAL 2006), sin embargo, al menos 10% del nitrógeno empleado en la agricultura intensiva en el estado de Sinaloa se lava hacia los cuerpos de agua y el Golfo de California, donde contribuye a aumentar la frecuencia de mareas rojas, las cuales afectan la calidad de la pesca y a todo el ecosistema marino (Riley

*et al.* 2001; Beman *et al.* 2005). El uso de plaguicidas se incrementó en 22% entre 1993-1995 y 2001-2003, lo que tiene consecuencias tanto en la pesca y los organismos capturados como en la salud humana, aunque estas no han sido documentadas adecuadamente (OCDE 2008). Numerosas plantas y animales pueden vivir donde se realiza una agricultura diversa, en paisajes con múltiples usos (Morales *et al.* 2008), pero no en áreas con agricultura intensiva.

La transformación de selvas en pastizales para el ganado promueve la compactación y erosión del suelo, así como la liberación de gases de efecto invernadero. En el caso de la transformación de la selva seca a pastizales en la región de Chamela-Cuixmala, se sabe que 80% de la biomasa aérea es consumida durante la quema, con lo que se pierde hasta 80% del carbono y del nitrógeno; la erosión aumenta en varios órdenes de magnitud debido a los cambios en la cobertura vegetal, a la pérdida de materia orgánica y de estructura del suelo; el microclima cambia, debido a modificaciones en los flujos de energía, lo que ocasiona a su vez cambios en los balances de energía y agua; la transformación de las selvas secas del país pueden conducir a la liberación de hasta 708 millones de toneladas de carbono (Maass *et al.* 2005).

Otra fuente importante de proteínas para los mexicanos son los productos derivados de la pesca y de la acuicultura; sin embargo, la pesca en México se ha llevado a cabo bajo esquemas de extracción que rebasan la capacidad de las poblaciones para mantenerlos, y con poco énfasis en el mantenimiento de todo el ecosistema marino (Nadal 1994; Sala *et al.* 2004; Ortiz-Lozano *et al.* 2005). Como consecuencia, esta actividad tiene consecuencias negativas en sí misma, impidiendo su mantenimiento a largo plazo. La opción de producción de proteínas con la acuicultura no es viable, puesto que tiene consecuencias negativas mucho más fuertes sobre los distintos servicios ecosistémicos (Tapia y Zambrano 2003; UNEP 2006; Zambrano *et al.* 2006). La introducción de especies, la transformación de hábitats costeros y el uso de antibióticos y alimentos para peces necesarios para la acuicultura tienen efectos negativos sobre la pesca, la calidad del agua, el mantenimiento de la biodiversidad acuática y marina, e incluso en la regulación de la respuesta de los ecosistemas a eventos naturales extremos. Es probable que la acuicultura cree más problemas ecológicos y sociales que beneficios en términos de fuentes de proteína animal para los habitantes de las zonas rurales. Por ejemplo, la Delegación Xochimilco ha invertido más de 100 veces en programas de erradicación de carpas y tilapias

de sus canales que lo que ganan todos los pescadores juntos durante un año por la venta del pescado (Tapia y Zambrano 2003).

El manejo de ecosistemas para la explotación forestal, la extracción de leña y la obtención de recursos diversos pueden, en cambio, tener impactos menores sobre los ecosistemas y sus servicios, e incluso ser compatibles con el mantenimiento de la biodiversidad y de los múltiples servicios ecosistémicos. El manejo forestal de un bosque reduce la integridad del ecosistema con respecto a zonas de estricta conservación, pero no implica la conversión del uso del suelo a ecosistemas radicalmente distintos como son los agropecuarios o urbanos (Bawa y Seidler 1998; Struhsaker 1998; Hartshorn y Bynum 1999; Putz *et al.* 2000; Pérez-Salicrup 2005). Es por lo tanto una actividad productiva con gran potencial en el país y que permite mantener, en gran medida, los ecosistemas forestales, su biodiversidad y los servicios que estos ofrecen; esto es particularmente cierto para los programas de manejo que han sido certificados como sustentables. De la misma manera, la extracción de leña tiene un impacto moderado sobre los ecosistemas; únicamente en zonas de alta extracción de leña se ha detectado la disminución en la oferta de las especies preferidas para la obtención de este energético (Detritinidad 1993; Masera *et al.* 1997; RWEDP 2000; Del Amo Rodríguez 2002), así como deforestación (Arnold *et al.* 2003). La leña representa, además, una fuente de energía renovable ampliamente disponible, que no compite con la madera comercial ni con los productos forestales no maderables. Utilizada de manera sustentable, puede tener una contribución importante en la transición hacia el uso de combustibles renovables, con impactos positivos en la regulación climática al mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> por la quema de combustibles fósiles; además, tiene efectos positivos en la regulación de la respuesta a eventos naturales extremos puesto que reduce el riesgo de incendios forestales (Masera 2005). El manejo de ecosistemas para la obtención de recursos múltiples depende de su mantenimiento, del de las especies que de ellos se extraen, así como del de las especies y componentes de los ecosistemas que interactúan con ellas; por lo tanto es compatible con el mantenimiento de los ecosistemas, su biodiversidad y sus servicios (Panayatou y Ashton 1992; Shvidenko *et al.* 2005; Bennett y Balvanera 2007).

Las interacciones de servicios incluyen además los culturales. Las sociedades locales en México están sujetas a dinámicas de alta vulnerabilidad que al combinarse han llevado a la destrucción de los ecosistemas y a la pér-

dida de biodiversidad. Pobreza extrema, marginación política para participar en la definición del desarrollo, migraciones masivas, fisuras y rompimientos de organizaciones comunitarias, estructura políticas caciquiles, políticas irracionales y erráticas de fomento rural, y políticas comerciales adversas se conjugan en formas y grados distintos en cada sociedad, lo que provoca situaciones de deterioro ambiental y social particulares (Reardon y Vosti 1995; Provencio y Carabias 1997; Allen-Wardell *et al.* 1998; Paré 1999). En este marco, los servicios culturales que el ecosistema pueda brindar se ven disminuidos a través del cristal de la pobreza, de la necesidad económica y de la subsistencia apremiante, de la desmotivación colectiva y de la desorganización comunitaria.

#### **4.5 EL PAPEL DE LAS POLÍTICAS EN LA CAPACIDAD PRESENTE Y FUTURA DE LOS ECOSISTEMAS PARA PROPORCIONAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

El mantenimiento de la capacidad de los ecosistemas mexicanos para proveer servicios necesita como premisa fundamental el manejo sustentable de nuestros ecosistemas. Esto significa que se puedan sostener tanto natural como socialmente los esquemas de manejo. Para ello, por un lado se deben satisfacer las necesidades básicas de la población mexicana, y por otro asegurar su viabilidad a largo plazo. Se requiere entonces identificar las necesidades de los distintos actores, promover su participación, conjuntar políticas intersectoriales que permitan a largo plazo mantener la capacidad de los ecosistemas para brindar servicios, así como el bienestar de los distintos actores. Para lograr este propósito, los gobiernos tienen la posibilidad de diseñar e implementar programas de políticas públicas e instrumentos de planeación vinculados con ellos.

Durante el sexenio 2000-2006, distintos organismos desconcentrados y descentralizados del sector ambiental elaboraron y ejecutaron distintos programas con esta finalidad. Algunos de estos programas van encaminados al mantenimiento y creación de nuevas áreas naturales protegidas, como las que se establecieron por medio de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp-Semarnat), y así asegurar el mantenimiento de la biodiversidad en ciertos ecosistemas críticos, así como el mantenimiento de los servicios que proporcionan. En el sector forestal, se han realizado programas de fomento productivo y de manejo comunitario de bosques con énfasis

en la biodiversidad, como el Programa de Conservación y Manejo Forestal (Procymaf) y el Programa de Conservación Indígena de la Biodiversidad (Coinbio). En el contexto del Programa Nacional Forestal 2001-2006 se han creado programas para pagos por servicios ambientales, que abarcan la captura de carbono, los servicios hidrológicos y el mantenimiento de la biodiversidad (Conafor 2006). Los aprovechamientos de la fauna silvestre por medio de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) permiten aumentar los ingresos de ejidatarios, comuneros o individuos, mediante la diversificación de sus actividades productivas, fomentado además el mantenimiento de la biodiversidad. La Estrategia Nacional sobre Biodiversidad (CONABIO 2000) busca promover el mantenimiento de la biodiversidad mediante mecanismos políticos y económicos, tanto por su valor actual como por razones éticas y por los servicios ecosistémicos que brinda a todos los mexicanos.

Sin embargo, la falta de una unidad de planeación común y, por ende, de objetivos consensuados condujo a que las acciones en materia de recursos naturales en general se realicen de manera independiente, y a veces enfrentadas, entre las diferentes instituciones de gestión ambiental. Además, muchos de los programas actuales tienen un énfasis más productivo que ambiental, ya que abordan prioritariamente los problemas sociales y económicos del país. Así, por ejemplo, en el contexto de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, que contiene 149 programas distintos, se asignaron 159 815 millones de pesos (Chapela 2005) del presupuesto de egresos de la Federación para el año 2006, de los cuales 51 068 millones (32%) iban dirigidos a programas productivos (Sagarpa) y solo 8 027 millones de pesos (5%) se dedicaron a la agenda ambiental (Semarnat). La actividad forestal en México recibió 20 veces menos recursos económicos que el sector agropecuario (Chapela 2005), a pesar de que la primera permitiría importantes ingresos y al mismo tiempo el mantenimiento de la biodiversidad (Merino 2001; Klooster 2003; Cedeño-Gilardi y Pérez-Salicrup 2005). Finalmente, los impactos ambientales de los distintos programas con énfasis productivo son rara vez considerados. A continuación detallamos algunas de las consecuencias de las políticas sobre los servicios ecosistémicos.

En el caso de la agricultura, las políticas públicas no han favorecido el desarrollo de una agricultura más eficiente y sustentable. El valor real de los pagos de Procampo sufrió un deterioro de 40% en los primeros ocho años de vida del TLC, anulando así la posible compensación

frente a la pérdida de ingreso de los productores del campo. Además, la apertura comercial en el sector maicero no respetó ni los tiempos ni las modalidades previstas en el sistema arancel-cuota del TLC para este cultivo. Eso provocó una liberalización absoluta desde el 1 de enero de 1994 y truncó el periodo de transición originalmente planteado para 15 años (Nadal 2000). Los subsidios a los fertilizantes recientemente propuestos no harán más que exacerbar la problemática ambiental asociada.

La actividad ganadera ha gozado de numerosos apoyos gubernamentales. Los efectos perversos de varios de estos programas, sobre todo en el contexto de la potencial expansión e intensificación de las actividades agrícolas y ganaderas del país para satisfacer la creciente demanda de alimentos, deben ser considerados y tomados en cuenta para modificar sus reglas de operación en función de las características ecológicas y de la oferta ambiental (Chapela 2005).

En relación con la pesquería, hoy día la Comisión Nacional de Pesca está rebasada en su capacidad de administrar los recursos, por lo que resulta fundamental implementar políticas que promuevan el control de las pesquerías por medio de instrumentos eficaces de manejo pesquero. Es necesario transitar de un sistema de acceso abierto a uno cerrado mediante cuotas de captura, cuotas individuales transferibles y concesiones pesqueras, entre otras herramientas. Es importante que los subsidios que hoy otorgan a la pesca se reorienten de modo que contribuyan a lograr la equidad social, el beneficio ambiental y la sustentabilidad a largo plazo. Por otro lado, en el caso de la acuicultura, es necesario replantear su fomento en el contexto de sus impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos, marinos e incluso terrestres.

En los dos últimos sexenios ha habido un esfuerzo del gobierno federal por impulsar la actividad forestal. Sin embargo, la producción de madera en México no ha mostrado una tendencia al aumento. Más aún, no se han logrado modificar algunas tendencias que claramente señalan aspectos limitantes de la producción forestal de México. Existe una baja incorporación de la biodiversidad vegetal en la producción de madera, lo cual implica el aprovechamiento de un reducido número de especies. Además, los programas del sexenio 2000-2006 presentaban un énfasis en la promoción de plantaciones forestales con unas cuantas especies para satisfacer los requerimientos de madera (Prodeplan y Pronare). Esta política, lejos de mantener la integridad de los ecosistemas de nuestro país, llevará a la eliminación de extensas zonas hoy cubiertas con vegetación original y a su reemplazo

por agricultura de largo plazo (plantaciones forestales). Por otro lado, debido a que en México una gran proporción de los recursos forestales del país se encuentra en manos de ejidatarios o comunidades indígenas, es necesario fomentar la participación de los dueños de los recursos forestales en el desarrollo de esquemas de manejo cada vez más adecuados. Sin embargo, hay claros vacíos en la legislación, como la ausencia de una política pública orientada hacia el aprovechamiento de la madera para producir energía, o de la bioenergía en general (Maserá 2005). Este mismo vacío es evidente para el caso de programas que consideren y apoyen el manejo del recurso vegetal con fines medicinales; no existen los mecanismos suficientes para asegurar el reconocimiento de los derechos intelectuales sobre el conocimiento popular en el uso de las plantas medicinales y su pago en el caso del desarrollo biotecnológico de fitofármacos.

El país se encuentra en una situación crítica e irreversible en torno a la disponibilidad de los recursos hídricos, lo que pone en riesgo el desarrollo humano, la seguridad hídrica y el funcionamiento de los ecosistemas. No obstante, los programas gubernamentales no han considerado de forma integral las consecuencias de la escasez de agua, así como del deterioro en su calidad, en las actividades productivas, en el funcionamiento de los ecosistemas y por lo tanto en su capacidad de brindar servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte (Carabias y Landa 2006).

Si bien existen ciertos programas que promueven la conservación de la biodiversidad, no hay esquemas legales ni políticas que aseguren su mantenimiento fuera de los sistemas con algún esquema de protección y que aseguren el mantenimiento de los servicios que proporciona. Por ejemplo, la legislación actual no promueve ni protege los servicios ecosistémicos brindados por los polinizadores, o por los enemigos naturales de plagas o de vectores de enfermedades, los cuales habitan en zonas con producción agropecuaria. Tampoco existen políticas y acciones claras y oportunas que regulen la introducción de especies, ya sea consciente o inconscientemente, las cuales pueden tener importantes consecuencias sobre el mantenimiento de la biodiversidad. Así, la introducción no regulada al país de especies exóticas, como los abejorros polinizadores de origen euroasiático (*Bombus terrestris*) o de otras regiones de Norteamérica (*Bombus impatiens*) pone en riesgo potencial a poblaciones nativas de abejorros del mismo género; sin embargo, se carece de datos que permitan cuantificar esta actividad. De la misma manera, el país carece de programas preventivos

ante los impactos negativos de la pérdida de biodiversidad o la introducción de especies exóticas. En particular, en el tema de salud pública, el mantenimiento de la biodiversidad para la prevención de brotes epidémicos o con afectaciones en un gran número de especies es indispensable.

La grave situación que enfrentan los suelos en cuanto a su degradación y a los efectos indirectos que ello provoca en la economía, en el ambiente y en la salud de la población no ha ocupado un lugar central en la agenda de los gobiernos. Actualmente solo hay algunos programas con escasos recursos dentro de la Sagarpa y de la Semarnat; ambas secretarías tienen la visión de mantener solo una de las funciones del suelo: el sostenimiento de plantas.

La calidad del aire en México está regulada desde 1992 por normas oficiales mexicanas que determinan los niveles máximos permisibles en aire para distintos contaminantes. Al igual que en la mayoría de los países, estas normas se basan en criterios de protección a la salud humana; no obstante, es necesario el desarrollo de normas o índices basados en criterios para la protección de los ecosistemas, como los que existen en Estados Unidos y la Unión Europea para el ozono y el dióxido de azufre (Grennfelt 2004).

En el caso de la regulación climática y la regulación de la respuesta a eventos naturales extremos ha habido esfuerzos claros en la política nacional que se han enfocado en la conservación de ecosistemas críticos, de su biodiversidad y de los servicios que proporcionan, y en el desarrollo de esquemas de pagos por servicios de almacenamiento de carbono. Entre las iniciativas recientes se incluye, también, la Estrategia Nacional de Acciones ante el Cambio Climático.

#### **4.6 HACIA EL MANTENIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS Y SUS SERVICIOS**

Nuestro país se encuentra ante una problemática compleja y nuestro futuro dependerá de la manera en que se aborden las distintas aristas de esta situación. Es clara, por un lado, la urgencia de cubrir las necesidades básicas de la población en cuanto a alimentación, materiales de construcción, leña, agua; estas acciones tendrán que considerar el combate a la pobreza en la que se encuentran importantes sectores de la población. Sin embargo, no es posible asegurar la sustentabilidad en la provisión de estos servicios sin asegurar el mantenimiento de los ecosistemas que los proveen, y de la biodiversidad asociada a ellos. Es entonces igualmente urgente asegurar el

mantenimiento de la regulación de la calidad del agua, del control de la erosión, de la respuesta a eventos naturales extremos y de la biodiversidad misma. Para lograr esto, es importante considerar una serie de lineamientos generales.

Es necesario fomentar las actividades productivas (asociadas a los servicios de provisión) que sean compatibles con mantener el funcionamiento adecuado de los ecosistemas, su biodiversidad y la provisión sostenida de una amplia gama de servicios ecosistémicos. Las actividades agrícolas, ganaderas, forestales y pesqueras pueden llevarse a cabo dentro de esquemas de manejo que incorporen a un gran número de especies, que estén estrechamente asociados al mantenimiento de múltiples servicios y que minimicen los impactos negativos sobre los ecosistemas. Es necesario aún desarrollar muchas de estas alternativas y fomentar la aplicación de las que ya existen.

Es necesario hacer mayor énfasis en los servicios de regulación, no solo en los de provisión. La planeación adecuada de las actividades productivas, la prevención de consecuencias negativas, la incorporación de los costos ambientales en la obtención de los servicios, así como el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas y su biodiversidad son indispensables para asegurar el mantenimiento de los servicios de regulación. Estos servicios son de fundamental importancia para el bienestar humano pero prácticamente no son considerados dentro de los esquemas de desarrollo.

El mantenimiento respetuoso del bagaje cultural de los pueblos de México, así como el de los diversos servicios culturales que estos brindan permitirá una interacción más rica, digna y sustentable de las poblaciones con sus ecosistemas.

El severo deterioro de los ecosistemas deberá ser detenido, mitigado y aun revertido. Estas acciones permitirán no solo la recuperación de los servicios de provisión en crisis (como los derivados de la pesca), sino también la de los servicios de regulación, lo que a su vez ayudará a mitigar los costos de la degradación ambiental y prevenir futuros deterioros.

Para lograr todo lo anterior, es indispensable contar con información precisa sobre la situación de los distintos servicios ecosistémicos a lo largo del país y del tiempo. Esto significa que es necesario ampliar la gama de variables a las que se les da seguimiento para incluir indicadores de los distintos servicios; se requiere ampliar la frecuencia en las mediciones para poder conocer posibles tendencias al alza o a la baja; se necesita ampliar la

cobertura nacional, regional y local para poder desarrollar programas específicos para las distintas regiones del país y los distintos actores involucrados. Finalmente, es indispensable tener más información acerca de las interacciones de servicios, en particular sobre sus interacciones negativas, evaluando costos y beneficios para los distintos sectores de la sociedad.

Es necesario que las políticas de gobierno estén coordinadas y abarquen una visión integral de los servicios ecosistémicos y las disyuntivas entre ellos. Los programas de desarrollo económico y social deberán estar armonizados con aquellos de mantenimiento de los ecosistemas, su biodiversidad y sus servicios. Sin embargo, la toma de decisiones, así como la formulación de programas y políticas deben basarse en información y conocimiento científicos, tanto en el ámbito natural como en el social. Requerimos entonces información más detallada e integral de todos los temas abordados en este capítulo para fortalecer los vínculos entre la investigación científica y la toma de decisiones.

Para lograr todo lo anterior, el diálogo entre los distintos sectores de la población, inversionistas privados, poblaciones rurales, agricultores y ganaderos ricos y pobres, tomadores de decisiones y científicos es fundamental. En este, las necesidades de cada sector pueden balancearse entre ellas, cuidando además el mantenimiento de los ecosistemas, la biodiversidad y los servicios que brindan beneficios comunes.

#### 4.7 CONCLUSIÓN

Los ecosistemas de México y la enorme biodiversidad que estos albergan ofrecen una amplia gama de beneficios o servicios a sus pobladores. Sin embargo, la capacidad actual de los ecosistemas mexicanos para proporcionar estos servicios está deteriorándose. En el caso de los servicios de provisión, como la producción de alimentos derivados de la agricultura o la ganadería, o la producción de madera o leña, la situación es estable en términos absolutos, pero decreciente en términos relativos al número de habitantes de nuestro país. En el caso de la provisión de agua y de alimentos derivados de la pesca la situación es crítica; sin embargo, las acciones tomadas a la fecha para revertir estas tendencias, como la construcción de infraestructura en el caso del agua o la promoción de la acuicultura en el caso de la pesca, pueden tener consecuencias aún más negativas. En el caso de los servicios de regulación la información es escasa; aun así, las

tendencias obtenidas muestran también francos procesos de deterioro. En el caso de los servicios culturales se presenta una gran diversidad de respuestas. La falta de entendimiento sobre las relaciones complejas entre servicios ha conducido a la promoción de políticas públicas que enfatizan de forma individual el mantenimiento de algunos de estos servicios, en muchos casos a costa de otros; no obstante, algunos programas desarrollados durante el sexenio anterior, así como una visión transversal integral pueden ayudar a revertir las actuales tendencias de deterioro en la capacidad de provisión de servicios.

Los ecosistemas mexicanos son particularmente privilegiados por su enorme biodiversidad, por la enorme riqueza cultural que se ha acumulado como producto de la interacción de las poblaciones humanas y esta biodiversidad, así como por la amplia gama de servicios ecosistémicos que brindan a la población. Sin embargo, no hemos enfatizado suficientemente la importancia de este gran patrimonio, ni asegurado su mantenimiento a mediano y largo plazos. Es urgente por lo tanto tomar acciones integrales que permitan maximizar el mantenimiento de los distintos servicios ecosistémicos que benefician en última instancia a los distintos sectores de la población de nuestro país.

---

#### REFERENCIAS

- Agardy, T., J. Alder, P. Dayton, S. Curran, A. Kitchingman *et al.* 2006. Coastal systems, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 515-549.
- Aguilar, A., y S. Xolalpa. 2002. La herbolaria mexicana en el tratamiento de la diabetes. *Ciencia* **53**:24-35.
- Alarcón, F., R. Ramos y J.L. Flores. 1993. Plantas usadas en el control de la diabetes mellitus. *Ciencia* **44**:363-381.
- Alegría, H., T.F. Bidelman y M.S. Figueroa. 2006. Organochlorine pesticides in the ambient air of Chiapas, Mexico. *Environmental Pollution* **140**:483-491.
- Allen-Wardell, G., P. Bernhardt, R. Bitner, A. Búrquez, S.L. Buchmann *et al.* 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology* **12**:8-17.
- Almeida, L.M., P.J. Rocha, R.J.P. Piña y S. Martínez. 1998. *Diagnóstico molecular del "amarillamiento letal del cocotero": su uso en programas de mejoramiento genético y estudios epidemiológicos*. Instituto Nacional de Investigaciones

- Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, México.
- Aluja, M. 1993. *Manejo integrado de las moscas de la fruta*. Trillas, México.
- Aluja, M. 1996. Future trends in fruit fly management, en B.A. McPherson y G.J. Steck (eds.), *Fruit fly pests, a world assessment of their biology and management*. St. Lucie Press, DelRay Beach, pp. 309-320.
- Aluja, M. 1999. Fruit fly (Diptera: Tephritidae) research in Latin America: Myths, realities and dreams. *Anais da Sociedade Entomologica do Brasil* **28**:565-594.
- Aluja, M., A. Jiménez, M. Camino, J. Piñero, L. Aldana *et al.* 1997. Habitat manipulation to reduce papaya fruit fly (Diptera: Tephritidae) damage: Orchard design, use of trap crops and border trapping. *Journal of Economic Entomology* **90**:1567-1576.
- Amacup. 1997. Amate, artesanos, medio ambiente y tecnología. *Boletín Bimestral de la Asociación Mexicana de Arte y Cultura Popular (Amacup)*, año 1, núms. 1, 2 y 3.
- Amacup. 1998. Amate, artesanos, medio ambiente y tecnología. *Boletín Bimestral de la Asociación Mexicana de Arte y Cultura Popular (Amacup)*, año 1, núm. 4.
- Andrade-Cetto, A., y M. Heinrich. 2005. Mexican plants with hypoglycemic effect used in the treatment of diabetes. *Journal of Ethnopharmacology* **99**:325-348.
- Andrade-Cetto, A., y H. Wiedenfeld. 2001. Hypoglycemic effect of *Cecropia obtusifolia* on Streptozotocin diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology* **78**:145-149.
- Arias-Cóyotl, E., K.E. Stoner, A. Casas y J. Cruse. 2006. Effectiveness of bats as pollinators of *Stenocereus stellatus* in cultivated, managed in situ and wild populations in central Mexico. *American Journal of Botany*. **93**:1675-1683.
- Arnold, M., G. Köhlin, R. Persson y G. Shepherd. 2003. *Fuelwood revisited: What has changed in the last decade?* Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.
- Arroyo-Quiroz, I. 2003. *Developing countries and the implementation of cites: A case study of Mexico in the international reptile skin trade*. University of Kent at Canterbury, RU.
- Arroyo-Quiroz, I., R. Pérez-Gil y N. Leader-Williams. 2007. Mexico in the international reptile skin trade: A case study. *Biodiversity and Conservation* **16**:931-952.
- Astier, M., y N. Barrera-Bassols. 2005. *Catálogo de maíces criollos de las cuencas de Pátzcuaro y Zirahuén*. Instituto de Ecología e Instituto de Geografía, UNAM-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Secretaría de Desarrollo Agropecuario-Instituto Nacional de Ecología, México.
- Astier, M., y J. Hollands. 2005. *Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica*. Mundi Prensa-Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Adecuada (GIRA)-Low External Output and Sustainable Agriculture (ILEIA), México.
- Astier, M., J. Etchevers, J.M. Maass, J.J. Peña y F. de León. 2006. Transitional effects of green manure and tillage management on soil quality and productivity in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research* **88**:153-159.
- Ávila, P. 2003. *Cambio global y recursos hídricos en México*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Ayala, R., T.L. Griswold y S.H. Bullock. 1998. Las abejas nativas de México, en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México, pp. 179-226.
- Azqueta, D. 1994. *Valoración económica de la calidad ambiental*. McGraw-Hill, Madrid.
- Azqueta, D., y L. Pérez. 1996. *El valor económico de los servicios recreativos en los espacios naturales*. McGraw Hill, Madrid.
- Baillie, J.E.M., C. Hilton-Taylor y S.N. Stuart (eds.). 2004. *2004 IUCN red list of threatened species. A global species assessment*. IUCN, Gland.
- Balvanera, P., y R. Prabhu. 2004. *Ecosystem services: The basis for global survival and development*. Background paper commissioned for the Task Force on Environmental Sustainability. Millennium Project, Organización de las Naciones Unidas, Nueva York.
- Balvanera, P., A.B. Pfisterer, N. Buchmann, J.-S. He, T. Nakashizuka *et al.* 2006. Quantifying the evidence of biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* **9**:1146-1156.
- Barbier, M., M. Acreman y D. Knowler. 1997. *Economic valuation of wetlands: A guide for policy makers and planners*. Ramsar Convention Bureau, Gland.
- Barrera, A., A. Gómez-Pompa y C. Vázquez-Yanes. 1977. El manejo de las selvas por los mayas: sus implicaciones silvícolas y agrícolas. *Biotica* **2**:47-61.
- Barrera-Bassols, N. 2003. *Symbolism, knowledge, and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional, and local scales*. Faculty of Sciences, University of Gent, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Gent, Países Bajos.
- Bawa, K.S., y R. Seidler. 1998. Natural forest management and conservation of biodiversity in tropical forests. *Conservation Biology* **12**:46-55.
- Beattie, A.J., W. Barthlott, E. Elisabetsky, R. Farrel, C.T. Khen *et al.* 2005. New products and industries from biodiversity, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, pp. 271-295.
- Beman, J.M., K.R. Arrigo y P.A. Matson. 2005. Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature* **434**:211-214.
- Bennett, E.M., y P. Balvanera. 2007. The future of production systems in a globalized world: Challenges and opportuni-

- ties in the Americas. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:191-198.
- Bitrán, D. 2001. *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, México.
- Bravo de Guenni, L., M. Cardoso, J. Goldammer, G. Hurtt, J.L. Mata *et al.* 2005. Regulation of natural hazards: Floods and fires, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, pp. 441-454.
- Bravo, H.A., M.R.I. Saavedra, P.A. Sánchez, R.J. Torres y L.M.M. Granada. 2000. Chemical composition of precipitation in a Mexican Maya region. *Atmospheric Environment* 34:1197-1204.
- Brower, L.P., A. Alonso, L.S. Fink, B. Frost, S.B. Malcolm *et al.* 2005. *Reduced numbers of monarch butterflies overwintering in Mexico during the 2004-2005 season: Evidence, possible causes and recommendations*. Disponible en <[www.monarchwatch.org/update/2005/0221\\_Sci\\_Adv\\_Rpt\\_11.pdf](http://www.monarchwatch.org/update/2005/0221_Sci_Adv_Rpt_11.pdf)>.
- Bruijnzeel, L.A. 2004. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 1:185-228.
- Buchmann, S.L., y G.P. Nabham. 1996. *The forgotten pollinators*. Island Press, Washington, D.C.
- Caballero, J., A. Casas, L. Cortés y C. Mapes. 1998. Patrones en el conocimiento, uso y manejo de plantas en pueblos indígenas de México. *Revista de Estudios Atacameños* 16:181-196.
- Cairns, M.A., P.K. Haggerty, R. Álvarez, B.H.J. De Jong e I. Olmsted. 2000. Tropical Mexico's recent land-use change: A region's contribution to the global carbon cycle. *Ecological Applications* 10:1426-1441.
- Canto-Aguilar, A., y V. Parra-Tabla. 2000. Importance of conserving alternative pollinators: Assessing the pollination efficiency of the squash bee *Peponapis limitaris* in *Cucurbita moschata* (Cucurbitaceae). *Journal of Insect Conservation* 4:203-210.
- Carabias, J. 2005. Presentación: Foro sobre la selva lacandona en Chiapas, El Colegio de México, México.
- Carabias, J., y R. Landa. 2006. *Agua, medio ambiente y sociedad: hacia una política integral de los recursos hídricos*. El Colegio de México-UNAM-Fundación Gonzalo Río Arronte, México.
- Carrillo, R.H. 1990. *Monitoreo del "Amarillamiento letal del cocotero" en la península de Yucatán*. Informe técnico 89-90. CIFAP, Chetumal.
- Casas, A. 1998. Domesticación de plantas y recursos genéticos de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62:73-76.
- Casas, A., J. Caballero, C. Mapes y S. Zárate. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61:31-37.
- Casas, A., J. Cruse, E. Morales, A. Otero-Arnaiz y A. Valiente-Banuet. 2006. Maintenance of phenotypic and genotypic diversity of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous people. *Biodiversity and Conservation* 15:879-898.
- Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra. 2003. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- Cassman, K.G., S. Wood, P.S. Choo, D. Cooper, C. Devendra *et al.* 2005. Cultivated systems, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, pp. 745-794.
- Castañeda, A., A. Equihua, J. Valdés, A. Barrientos, G. Ish *et al.* 1999. Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 5:129-136.
- Catovsky, S., M.A. Bradford y A. Hector. 2002. Biodiversity and ecosystem productivity: Implications for carbon storage. *Oikos* 97:443-448.
- CBD. 2004. *Addis Ababa principles and guidelines for the sustainable use of biodiversity*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD), Montreal.
- CCMSS. 2005. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, en <<http://www.ccmss.org.mx>> (consultado en abril de 2006).
- Cedeño-Gilardi, H., y D.R. Pérez-Salicrup. 2005. La legislación forestal y su efecto en la restauración en México, en O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales *et al.* (eds.), *Temas sobre restauración ecológica*. Instituto Nacional de Ecología, Semarnat-US. Fish & Wildlife Service-Unidos para la Conservación, México, pp. 87-97.
- Cedeño-Gilardi, H. 2005. *Análisis histórico de las políticas forestales en la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán*. UNAM, México.
- Enapred. 2005. *Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México*. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, México.
- CEPAL. 2002. *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres*. Quinta parte. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, México.
- CEPAL. 2006. *México: crecimiento agropecuario. TLCAN, capital humano y gestión del riesgo*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, México.
- Cerón, R.M.B., H.G. Padilla, R.D. Belmont, M.C.M. Torres, R.M. García *et al.* 2002. Rainwater chemical composition at the end of the mid-summer drought in the Caribbean shore of the Yucatán Peninsula. *Atmospheric Environment* 36:2367-2374.

- Chapela, G. 2005. *Sustentabilidad del programa especial concurrente. Informe preliminar*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria-El Colegio de México, México.
- CNA. 2001. *Programa nacional hidráulico 2001-2006*. CNA, México.
- CNA. 2002. *Compendio básico del agua 2002*. CNA, México.
- CNA. 2003. *Estadísticas del agua 2003*. CNA, México.
- CNA. 2004. *Estadísticas del agua en México*. CNA, México.
- CNA. 2005. *Ley federal de derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales*. CNA, México.
- CONABIO. 1998. *La diversidad biológica de México: Estudio de país*. CONABIO, México.
- CONABIO. 2000. *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*. CONABIO, México.
- CONABIO. 2006. *Capital natural y bienestar social*. CONABIO, México.
- CONABIO. 2008. En <[http://www.conabio.gob.mx/invasoras/index.php/Palomilla\\_del\\_nopal\\_en\\_Mexico](http://www.conabio.gob.mx/invasoras/index.php/Palomilla_del_nopal_en_Mexico)>.
- Conafor. 2003. *Taller regional de captación de demandas en investigación y desarrollo forestal. Gerencia regional IV, Balsas*. Consejo Nacional Forestal-Comisión Nacional Forestal, México.
- Conafor. 2006. *Programa de pagos por servicios ambientales*. Comisión Nacional Forestal, en <[www.conafor.gob.mx/programas\\_nacionales\\_forestales/psa/index.html](http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/psa/index.html)> (consultado en abril de 2007).
- Conapesca-Sagarpa. 2003. *Indicadores de la actividad pesquera*, en <[www.sagarpa.gob.mx/conapesca/planeación/boletin/ind\\_junio03.htm](http://www.sagarpa.gob.mx/conapesca/planeación/boletin/ind_junio03.htm)> (consultado en abril de 2006).
- Conapesca. 2000. Carta nacional pesquera. Comisión Nacional de Pesca (Conapesca). *Diario Oficial de la Federación*, 29 de agosto de 2000.
- Conapesca. 2003. *Anuario estadístico de pesca*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Comisión Nacional de Pesca, México.
- Conapo. 2003. *Proyecciones de población 2000-2050*. Consejo Nacional de Población, México.
- Cotecoca. 1994. *Revegetación y reforestación de las áreas ganaderas en las zonas tropicales de México*. Comisión Técnica Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca)-Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos, México.
- Cotler, H., y M.P. Ortega-Larrocea. 2006. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela Watershed, Mexico. *Catena* 65: 107-117.
- CSPNA. 2007. *Status of pollinators in North America*. Committee on the Status of Pollinators in North America (CSPNA), National Research Council, National Academies Press, Washington D.C.
- Daily, G.C., P.A. Matson y P.M. Vitousek. 1997. Ecosystem services supplied by soil, en G.C. Daily (ed.), *Nature's services*. Island Press, Washington D.C., pp. 113-132.
- De Foy, B., J.R. Varela, L.T. Molina y M.J. Molina. 2006. Rapid ventilation of the Mexico City Basin and regional fate of the urban plume. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 6: 839-877.
- De Garay, E.S. 1997. *Estudio etnobotánico de plantas medicinales del mercado Sonora*. Tesis de licenciatura. UNAM, México.
- De Groot, R., P.S. Ramakrishnan, A. van de Berg, T. Kulenthiran, S. Muller et al. 2005. Cultural and amenity services, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 455-476.
- De la Rosa, D.A., T. Volke-Sepúlveda, G. Solórzano, C. Green, R. Tordon et al. 2005. Survey of atmospheric total gaseous mercury in Mexico. *Atmospheric environment*. 38: 4839-4846.
- Del Amo Rodríguez, S. (coord.) 2002. *La leña: el energético rural en tres micro-regiones del sureste de México*. Plaza y Valdés Editores, México.
- Detrinidad, M.E. 1993. *Algunas consideraciones para normar, regular y controlar el manejo de bosques tropicales secos utilizados en la producción de leña en Nicaragua*. Instituto Nicaraguense de Recursos Naturales y del Ambiente-Servicio Forestal Nacional de Nicaragua, Managua.
- DGSV. 2006. *Informe anual programa Moscamed*. Dirección General de Sanidad Vegetal y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- Díaz, R. 2000. *Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO<sub>2</sub>*. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Díaz, S., J. Fargione, F.S. Chapin III y D. Tilman. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLOS Biology* 4: e277.
- Díaz, S., D. Tilman, J. Fargione, F.S. Chapin III, R. Dirzo et al. 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 297-329.
- Doran, J.W., y B.T. Parkin. 1994. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Special Publication No. 35, Madison.
- Duan, J.J., y R.J. Prokopy. 1995. Control of apple maggot flies (Diptera: Tephritidae) by pesticide-treated red spheres. *Journal of Economic Entomology* 88: 117-126.
- Durand, L., y E. Lazos. 2004. Colonization and tropical deforestation in the Sierra Santa Marta, southern Mexico. *Environmental Conservation* 31: 11-21.
- Echelle, A.A., y A.F. Echelle. 1984. Evolutionary genetics of a 'species flocks' atherinid fishes on the Mesa Central of

- Mexico, en A. Echelle e I. Kornfield (eds.), *Evolution of fish species flocks*. University of Maine Press, Orono, pp. 93-109.
- Espinosa, H., T.D. Gaspar y P.M. Fuentes. 1993. *Listados faunísticos de México. III: Los peces dulceacuícolas mexicanos*. Instituto de Biología, UNAM, México.
- Espinoza-Tenorio, A., I. Espejel-Carbajal y G. Montaña-Moctezuma. 2004. *Modelo cualitativo de indicadores ambientales para el análisis de escenarios pesqueros: caso de estudio Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado*, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.
- Falkenmark, M. 2003. *Water management and ecosystems: Living with change*. Global Water Partnership Technical Committee, Estocolmo.
- FAO. 2005. Protección a los polinizadores. *Enfoques 2005*. Food and Agriculture Organization. Disponible en <[www.fao.org/ag/esp/revista/pdf.htm](http://www.fao.org/ag/esp/revista/pdf.htm)>.
- Figuerola, R. 2003. *Agricultura orgánica es arte de vivir en equilibrio*. Colegio de Postgraduados, Montecillos.
- Finlayson, C.M., T. D'Cruz, N. Aladin, D.R. Barker, G. Beltram et al. 2005. Inland water systems, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, pp. 553-583.
- Fleming, T.H., T. Tibbitts, Y. Petryszyn e Y. Dalton. 2003. Current status of pollinating bats in southwestern North America, en T.J. O'Shea y M.A. Bogan (eds.), *Monitoring trends in bat populations of the United States and territories: Problems and prospects*. U.S. Geological Survey, Biological Resources Discipline, Information and Technology Report, USGS/BRD/ITR--2003-0003. Fort Collins, CO: U.S. Geological Survey, pp. 63-68.
- Folke, C., S.R. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C. Holling et al. 2002. *Resilience and sustainable development: Building adaptive capacity in a world of transformation*. Environmental Advisory Council, Estocolmo.
- Gay, C. (ed). 2000. *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program*. Instituto Nacional de Ecología, Semarnat-U.S. Country Studies Program, México.
- Gepts, J. 1993. The use of molecular markers in crop evolution studies. *Evolutionary Biology* 27:51-94.
- GIECC. 2000. *Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. Informe especial*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra.
- Godínez, L., y E. Lazos. 2003. Sentir y percepción de las mujeres sobre el deterioro ambiental: retos para su empoderamiento, en E. Tuñón (ed.), *Género y medio ambiente*. Ecosur-Semarnat-Plaza y Valdés, México, pp. 145-178.
- Grennfelt, P. 2004. New directions: Recent research findings may change ozone control policies. *Atmospheric Environment* 38:2215-2216.
- Guevara, A., J. Becerril y E. Castañeda. 2005. Mexcaltitlán: valoración económica del manglar bajo un enfoque de matriz de contabilidad social aplicada, *Anales del Segundo Congreso de la Asociación Latinoamericana de Economistas Ambientales y de Recursos Naturales*, Oaxaca.
- Harlan, J. 1992. Origins and processes of domestication, en G.P. Chapman (ed.), *Grass evolution and domestication*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 159-175.
- Hartshorn, G., y N. Bynum. 1999. Tropical forest synergies. *Science* 286:2093-2094.
- Hawkes, J.G. 1983. *The diversity of crop plants*. Harvard University Press, Londres.
- Helfman, G.S., B.B. Collette y D.E. Facey. 1997. *The diversity of fishes*. Blackwell Science, Oxford.
- Hernández-Galicia, E., A. Aguilar-Contreras, L. Aguilar-Santamaría, R. Román-Ramos, A.A. Chávez-Miranda et al. 2002. Studies on hypoglycemic activity of Mexican medicinal plants. *Proc. West. Pharmacol. Soc.* 45:118-124.
- Hernández, C.E. 1999. *Recetario nahua de Morelos*. Instituto Nacional Indigenista, México.
- Hersch, O. 1996. *Destino común. Los recolectores y su flora medicinal*. INAH, México.
- Hooper, D.U., F.S. Chapin, J.J. Ewell, A. Hector, P. Inchausti et al. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75:3-35.
- House, J., V. Brovkin, R. Betts, R. Constanza, M.A. Silva Diaz et al. 2005. Climate and air quality, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 357-390.
- IEA. 2002. Energy and poverty, en *World energy outlook 2002*. International Energy Agency, París.
- IMSS. 2005. *Estado actual de la herbolaria en México*. Instituto Mexicano del Seguro Social, México.
- INE. 1995. *Segundo taller de Estudio de país: México ante el cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología, Semarnat, México.
- INE. 2005. *Sistema nacional de información de la calidad del aire*. Instituto Nacional de Ecología, en <[www.sinaica.ine.gob.mx](http://www.sinaica.ine.gob.mx)> (consultado en octubre de 2005).
- INE. 2006. *México: tercera comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Instituto Nacional de Ecología, Semarnat, México.
- INEGI. 2000. *XII Censo general de población y vivienda, 2000. Datos tabulados básicos e integración territorial por localidad*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

- INEGI. 2005a. *Agenda estadística de México*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en <[www.inegi.gob.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/agenda/2005/agenda2005.pdf](http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/agenda/2005/agenda2005.pdf)>.
- INEGI. 2005b. *Censos de población y vivienda 2005*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- IPCC. 2002. *Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico 5 del IPCC*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra. Disponible en <<http://ipcc.cac.es/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>>.
- Kern, J.S., y G. Johnson. 1993. Conservation tillage impacts on national and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* **57**: 200-210.
- Klooster, D. 2003. *Campeños and Mexican forest policy during the twentieth century*. *Latin American Research Review* **38**: 94-126.
- Kremen, C., N.M. Williams y R.W. Thorp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **99**: 16812-16816.
- Labougle, R.J., y J.A. Zozaya. 1986. La apicultura en México. *Ciencia y Desarrollo* **12**: 17-36.
- Lal, P.N. 1990. Conservation or conversion of mangroves in Fiji. *Ocasional Paper of the East-West Environment and Policy Institute, Hawaii*, **11**.
- Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* **29**: 437-450.
- Landa, R., J. Meave y J. Carabias. 1997. Environmental deterioration in rural Mexico: An examination of the concept. *Ecological Applications* **7**: 316-329.
- Larson, W.E., y F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality, en IBSRAM (ed.), *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. Vol. 2. International Board for Soil Research and Management Proceeding **12**(2), Bangkok, pp. 175-203.
- Lastra-Marín, I., y M. Peralta-Arias. 2000. *Situación actual y perspectiva de la apicultura en México*, en <<http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/estudio/sppa00.pdf>> (consultado en julio de 2006).
- Lavelle, P., R. Dugdale, R. Scholes, A.A. Berhe, E. Carpenter et al. 2005. Nutrient cycling, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 331-353.
- Lazos Chavero, E. 2006. La cultura de la pobreza: Sentires para una transformación, en M. Lienhard (coord.). *Discursos sobre la pobreza. América Latina y/e países lusos-africanos*. Ed. Iberoamericana-Vervuert, Madrid-Frankfurt, pp. 43-61.
- Lazos Chavero, E., y E. Álvarez-Buylla. 1988. Ethnobotany in a tropical-humid region: The homegardens of Balzapote, Veracruz. *Journal of Ethnobiology* **8**: 45-79.
- Lazos Chavero, E. 1996. La ganaderización de dos comunidades veracruzanas: condiciones de la difusión de un modelo agrario, en L. Paré y M.J. Sánchez (eds.), *El ropaje de la tierra. Naturaleza y cultura en cinco zonas rurales*. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM-Plaza y Valdés, México, pp. 177-242.
- Lazos Chavero, E., y L. Paré. 2000. *Miradas indígenas sobre una naturaleza entristecida. Percepciones del deterioro ambiental entre nahuas del sur de Veracruz*. Instituto de Investigaciones Sociales-Plaza y Valdés, UNAM, México.
- Lazos, E., y D. Espinosa. 2003. *Trabajo de campo del proyecto: dimensiones sociales de la tecnología genética en la agricultura mexicana: el caso del maíz transgénico*. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, México.
- Legorreta, I.O. 1989. *Estudio comparativo de las plantas usadas para el tratamiento de la diabetes en algunos mercados de México*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Llorente, J., y A. Luis. 1988. Análisis conservacionista de las mariposas mexicanas: Papilionidae (Lepidoptera, Papilionoidea), en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Diversidad biológica de México: orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México, pp. 149-179.
- López-Hoffman, L., R.G. Varady, K.W. Flessa y P. Balvanera. En prensa. Ecosystem services across borders: A framework for transboundary conservation policy. *Frontiers in Ecology and the Environment*.
- Lovelock, J.E. 1979. *Gaia. A new look at life on Earth*. Oxford University Press, Londres.
- Maass, J.M., C.T. Jordan y J. Sarukhán. 1998. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agro-ecosystem under various management techniques. *Journal of Applied Ecology* **25**: 595-607.
- Maass, J.M., P. Balvanera, A. Castillo, G.C. Daily, H.A. Mooney et al. 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: Insights from long-term ecological and social research on the pacific coast of Mexico. *Ecology and Society* **10**: 17. Disponible en <[www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art17/](http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art17/)>.
- MacNeish, R.S., y M.W. Eubanks. 2000. Comparative analysis of the Río Balsas and Tehuacán models for the origins of maize. *Latin American Antiquity* **11**: 3-20.
- Mapes, C. 1987. El maíz entre los purhépechas de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *América Indígena* **47**: 345-379.
- Mariano-Bonigo, N.A. 2001. *Efecto de la herbivoría sobre la adecuación masculina y femenina de Cucurbita argyrosperma subsp. sororia*. Tesis de doctorado, Instituto de Ecología, UNAM, México.
- Márquez, C., T. Castro, A. Mulhia, M. Moya, A. Martínez-Arroyo et al. 2005. Measurement of aerosol particles, gases and flux radiation in the Pico de Orizaba National Park,

- and its relationship to air pollution transport. *Atmospheric Environment* **39**:3877-3890.
- Martínez, J., y A. Fernández. 2004. *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología, Semarnat, México.
- Martínez, J.E., y Z. Salazar. 2000. *Recetario colimense de la iguana*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México.
- Masera, O., M.J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forests: Current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* **35**:256-295.
- Masera, O.R. (ed.) 2005. *La bioenergía en México: un catalizador del desarrollo sustentable*. Publicación de la Red Mexicana de Bioenergía y la Comisión Nacional Forestal, Mundi-Prensa, México.
- Masera, O.R., G. Guerrero, A. Ghilardi, A. Velásquez, J.F. Mas et al. 2005. *Multiscale analysis of fuelwood "hotspots" using the wisdom approach: A case study for Mexico*. FAO Wood Energy Programme, Rome.
- Masera, O.R., A. Ghilardi, R. Drigo y M. Trossero. 2006. Wisdom: A GIS-based supply demand mapping tool for woodfuel management. *Biomass & Bioenergy* **30**:618-637.
- Mata, Z.P. 2004. Tendencias en el uso de insecticidas para el control de plagas agrícolas. Curso sobre producción de hortaliza, octubre de 2004. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco.
- Mazari Hiriati, M., y A. Zarco Arista. 2005. *Segundo informe técnico del proyecto evaluación del agua como elemento integrador en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago*. Semarnat, México.
- Meléndez, V., S. Magaña-Rueda, V. Parra-Tabla, R. Ayala y J. Navarro. 2002. Diversity of native bee visitors of cucurbit crops (Cucurbitaceae) in Yucatán, Mexico. *Journal of Insect Conservation* **6**:135-147.
- Merino, L., y G. Alatorre. 1997. Las condiciones de los aprovechamientos forestales en los casos de distintas comunidades de México, en L. Merino (coord.), *El manejo forestal comunitario en México y sus perspectivas de sustentabilidad*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM-Semarnap-World Resource Institute-Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, México, pp. 35-131.
- Merino, L. 2001. Las políticas forestales y de conservación y sus impactos sobre las comunidades forestales. *Estudios Agrarios* **18**:75-115.
- Mikola, H., R.D. Bardgett y K. Hedlund. 2002. Biodiversity, ecosystem functioning, and soil decomposer food webs, en M. Loreau, S. Naeem y P. Inchausti (eds.), *Biodiversity and ecosystem functioning: Synthesis and perspectives*. Oxford University Press, Oxford, pp. 169-180.
- Mikola, H., y H. Setälä. 1998. Relating species diversity to ecosystem functioning: Mechanistic backgrounds and experimental approach with a decomposed food web. *Oikos* **83**:180-194.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Island Press, Washington, D.C.
- Miller, S.E. 1986. Composition and derivation of freshwater fish fauna of Mexico. *An. Inst. Biol. Mex.* **30**:121-153.
- Morales, H., B.G. Ferguson y L. García-Barrios. 2008. Agricultura: la cenicienta de la conservación en Mesoamérica, en C.A. Harvey y J.C. Sáenz (ed.), *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica*. INBio, Heredia, Costa Rica, pp. 47-73.
- Nabhan, G.P. 2003. *Singing the turtles to sea: The Comcaac (Seri) art and science of reptiles*. University of California Press, Berkeley.
- Nadal, A. 1994. *Esfuerzo y captura. Tecnología y explotación de recursos marinos vivos*. El Colegio de México, México.
- Nadal, A. 2000. *The environmental and social impacts of economic liberalization on corn production in Mexico*. Estudio comisionado por Oxfam GB y wwf International, Gland.
- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann et al. 2000. *Emissions scenarios. A special report of working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Oaxaca-Villa, B., A. Casas y A. Valiente-Banuet. 2006. Reproductive biology in wild and silvicultural managed populations of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* **53**:277-287.
- OCDE. 2008. *Desempeño ambiental en la agricultura en la OCDE desde 1990. Sección de país México*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, en <[www.oecd/tad/env/indicators](http://www.oecd/tad/env/indicators)> (consultado en julio de 2008).
- Ordóñez, J.A.B., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F.L. Aviña, J.V. Pérez et al. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the central highlands of Michoacán, Mexico. *Forest Ecology and Management* **255**:2074-2084.
- Ortiz-Lozano, L., A. Granados-Barba, V. Solís-Weiss y M.A. García-Salgado. 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican coastal zone. *Ocean and Coastal Management* **48**:161-176.
- Orwin, K.H., y D.A. Wardle. 2004. New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology and Biochemistry* **36**:1907-1912.
- Ostfeld, R.S., y F. Keesing. 2000. Biodiversity and disease risk: The case of lyme disease. *Conservation Biology* **14**:722-728.
- Palomo, G.M., y R.B. Arriaga. 1993. Atlas de ubicación de productos agropecuarios utilizables, en *La planificación y desarrollo de la acuicultura en México. Apoyo a las actividades regionales de acuicultura en América Latina y el Caribe*. Secretaría de Pesca, Dirección General de Acuicultura, Pachuca, p. 20.

- Panayatou, T., y P. Ashton. 1992. *Not by timber alone: Economics and ecology for sustaining tropical forests*. Island Press, Washington, D.C.
- Paré, L. 1999. La Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas: una utopía si no hay coordinación entre instituciones. *El Jarocho Verde, Xalapa* 10: 4-8.
- Pauly, D., J. Alder, A. Bakun, S. Heileman, K.-H. Kock *et al.* 2005. Marine fisheries systems, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1. *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 477-511.
- Pearce, D. 1993. *Economic values and the natural world*. The MIT Press, Cambridge.
- Peixoto, I.D., y G. Abramson. 2006. The effect of biodiversity on the hantavirus epizootic. *Ecology* 87: 873-879.
- Pérez-Agis, E.S. 2000. *Fluctuación de la población de "gallina ciega" en dos sistemas de manejo para la producción de maíz en Michoacán*. Posgrado Inter-Institucional en Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad de Guadalajara, Guadalajara.
- Pérez-Salicrup, D.R. 2005. La restauración en relación con el uso extractivo de recursos bióticos, en O. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales *et al.* (eds.), *Temas sobre restauración ecológica*. Instituto Nacional de Ecología, Semarnat-U.S. Fish & Wildlife Service-Unitedos para la Conservación, México, pp. 79-86.
- Pérez Gil, R. (ed). 1996. *Importancia económica de los vertebrados silvestres de México*. CONABIO-PG7 Consultores, México.
- Pérez-Ortiz, G. 2005. *Diagnóstico ambiental como base para la rehabilitación de la Ciénega del Lerma, Estado de México*. UNAM, México.
- Peterson, A.T., C. Sánchez-Cordero, B. Beard y J.M. Ramsey. 2002. Ecologic niche modeling and potential reservoirs for chagas disease. *Emerging Infectious Disease* 8: 662-667.
- Piña, R.J., y R.H. Carrillo. 1985. Distribution and propagation of lethal yellowing of coconut palm in the state of Quintana Roo, Mexico. Ann. Meet. Am. Phytopath. Soc. (Caribbean div.). *Phytopathology* 76: 376.
- Porter, L. 2003. La apicultura y el paisaje maya. Estudio sobre la fenología de floración de las especies melíferas y su relación con el ciclo apícola en La Montaña, Campeche, México. *Estudios Mexicanos* 19: 303-330.
- Postel, S., y S. Carpenter. 1997. Freshwater ecosystem services, en G.C. Daily (ed.), *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, D.C., pp. 195-214.
- Proctor, M., P. Yeo y A. Lack. 1993. *The natural history of pollination*. Harper Collins Publishers, Hampshire.
- Provencio, E., y J. Carabias. 1997. Articulación entre política ambiental y política social en los programas contra la pobreza y el deterioro de los recursos naturales, en G. López (ed.), *Sociedad y medio ambiente en México*. El Colegio de Michoacán, Zamora, pp. 91-102.
- Putz, F.E., K.H. Redford, J.G. Robinson, R.A. Fimbel y G.M. Blate. 2000. *Biodiversity conservation in the context of tropical forest management*. Environment Department Papers. Paper No. 75. The World Bank, Washington, D.C.
- Ramos-Elorduy, J. 2004. La etnoentomología en la alimentación, la medicina y el reciclaje, en J. Llorente Bousquets, J.J. Morrone, O. Yáñez e I. Vargas F. (eds.), *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*, vol. IV, Facultad de Ciencias, Instituto de Biología, UNAM-CONABIO, México, pp. 329-413.
- Ramos-Elorduy, B.J. 2005. Insects: A hopeful food, en M.G. Paoletti (ed.), *Ecological implications of minilivestock: Role of rodents, frogs, snails, and insects for sustainable development*, Science Publishers, New Hampshire, pp. 263-291.
- Ramos-Elorduy, B.J., y J.M. Pino. 2005. *Base de datos de los insectos comestibles y medicinales de México*. Instituto de Biología, UNAM, México.
- Reardon, T., y S. Vosti. 1995. Links between rural poverty and the environment in developing countries: Asset categories and investment poverty. *World Development* 23: 1495-1506.
- RFA. 2006. *Smartwood production summary report*, en <[www.rainforest-alliance.org/programs/forestry/smartwood/public-summary-reports](http://www.rainforest-alliance.org/programs/forestry/smartwood/public-summary-reports)> (consultado en abril de 2006).
- Rico-Gray, V., A. Gómez-Pompa y C. Chan. 1985. Las selvas manejadas por los mayas de Yohaltun, Campeche. *Biotica* 10: 321-327.
- Riley, W.J., I. Ortiz-Monasterio y P.A. Matson. 2001. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in northern Mexico. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 223-236.
- Rivera Arriaga, E., G.J. Villalobos, I. Azuz Adeath y F. Rosado May (eds.). 2004. *El manejo costero en México*. Semarnat-CETYS-Universidad de Quintana Roo, México.
- Rocha-Peña, M.A., R.F. Lee, R. Lastra, C.L. Niblett, F.M. Ochoa-Corona *et al.* 1995. *Citrus tristeza virus and its vector Toxoptera citricida*. Threats to citrus production in the Caribbean and Central and North America. *Plant Disease* 79: 437-445.
- Rodríguez, J.P., T.D. Beard, E.M. Bennett, G.S. Cumming, S.J. Cork *et al.* 2006. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society* 11: 28.
- Roubik, D.W. 2002. The value of bees to the coffee harvest. *Nature* 417: 708.
- RWEDP. 2000. *Basics of wood energy planning – A manual*. Regional Wood Energy Development Programme in Asia GCP/RAS/154/NET, FAO, Bangkok. Disponible en <[www.rwedp.org/acrobat/rm36.pdf](http://www.rwedp.org/acrobat/rm36.pdf)>.
- Sagar-Sedagro. 2002. *Anuario estadístico de la producción agropecuaria, forestal y pesquera. Michoacán*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Social-Secretaría de Desarrollo Agropecuario-Alianza para el Campo, México.

- Sagarpa. 2001. *Carta nacional pesquera 2000*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Pesca, México.
- Sagarpa. 2002. *Situación actual y perspectiva de la apicultura en México 1990-1998*. Disponible en <[www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/estudio/sppa9098.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/estudio/sppa9098.pdf)>.
- Sagarpa. 2005. *Inventarios ganaderos 1990-1998*, en <[www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/estudio/sitov98tex.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/estudio/sitov98tex.pdf)> (consultado en abril de 2006).
- Sala, E., O. Aburto-Oropeza, M. Reza, G. Paredes y L.G. López-Lemus. 2004. Fishing down coastal food webs in the Gulf of California. *Fisheries* **29**: 19-25.
- Sala, O.E., D. van Vuuren, H.M. Pereira, D. Lodge, J. Alder et al. 2005. Biodiversity across scenarios, en S. Carpenter, P. Pingali, E.M. Bennet y M.B. Zurech (eds.), *Ecosystems and human well-being: Scenarios*, Vol. 2. *Findings of the Scenarios Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 375-408.
- Sampson, R.N., et al. 2005. Timber, fuel, and fiber, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1, *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 243-269.
- Sanabria, O.L. 1986. *Uso y manejo tradicional del recurso forestal en la comunidad de Xul, en el sur de Yucatán*. Tesis de maestría, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Xalapa, México.
- Sánchez-Cordero, V., P. Illoldi-Rangel, M. Linaje, S. Sarkar y A.T. Peterson. 2005. Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation* **126**: 465-473.
- Sánchez-Tejada, C., N. Rodríguez, C.I. Parra, O. Hernández-Montes, D.C. Barker et al. 2001. Cutaneous leishmaniasis caused by members of *Leishmania brasiliensis* complex in Nayarit, state of Mexico. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* **96**: 15-19. Disponible en <<http://memorias.ioc.fiocruz.br/961/3989.html>>.
- Sanjurjo, E. 2005. Estimación de la demanda por los servicios recreativos del manglar en Marismas Nacionales: una aplicación de la metodología de valoración contingente en La Tobará. *Anales del Segundo Congreso de la Asociación Latinoamericana de Economistas Ambientales y de Recursos Naturales*, Oaxaca.
- Sanjurjo, E., K. Cadena y E.I. Erbstoesser. 2005. Valoración económica de los vínculos entre manglar y pesquerías, *Memorias del Segundo Congreso Iberoamericano de Desarrollo y Medio Ambiente*, Puebla.
- Santiago Lastra, J.A., L.E. García Barrios, J.C. Rojas y H. Perales Rivera. 2006. Host selection behavior of *Leptophobia aripa* (Lepidoptera: Pieridae). *Florida Entomologist* **89**: 127-134.
- Schoijet, M. 2002. La evolución de los recursos pesqueros a escala mundial. *Revista Latinoamericana de Economía* **33**: 103-125.
- Semarnat-Colpos. 2003. *Evaluación de la degradación de los suelos causada por el hombre en la República mexicana, escala 1:250 000*. Memoria nacional, 2001-1002. Semarnat-Colegio de Posgraduados Chapingo, México.
- Semarnat y PNUD. 2005. *Indicadores básicos de desempeño ambiental*. Semarnat-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México.
- Semarnat. 2002. *Anuario estadístico de la producción forestal 2001*. Semarnat, México.
- Semarnat. 2003. *Anuario estadístico de la producción forestal 2003*. Semarnat, México.
- Sener. 2002. *Balance nacional de energía*. Secretaría de Energía, México.
- Seybold, C.A., M.J. Mausbach, D.L. Karlen y H.H. Rogers. 1997. Quantification of soil quality, en R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follet y B.A. Stewart (eds.), *Soil process and the carbon cycle*, CRC Press, Nueva York, pp. 387-403.
- Shiklomanov, I. 2002. *World water resources at the beginning of the 21<sup>st</sup> century*, International Hydrological Programme, UNESCO. Disponible en <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/>.
- Shvidenko, A., C.V. Barber, R. Persson, P. González, R. Hassan et al. 2005. Forest and woodland systems, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1, *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 567-614.
- Siacon. 2005. *Sistema de información agropecuaria de consulta (Siacon)*, en <[www.siap.sagarpa.gob/sistemas/siacon/SIACON.html](http://www.siap.sagarpa.gob/sistemas/siacon/SIACON.html)> (consultado en abril de 2005).
- SIAP-Sagarpa. 2001. *Anuario estadístico de la producción pecuaria de los Estados Unidos Mexicanos. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- SIAP-Sagarpa. 2005. *Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México.
- SMA-GDF. 2005. *Informe del estado de la calidad del aire y tendencias 2004*. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, México.
- Soberón, J., J. Golubov y J. Sarukhán. 2001. The importance of *Opuntia* in Mexico and routes of invasion and impact of *Cactoblastis cactorum* (Lepidoptera: Pyralidae). *Florida Entomologist* **84**: 486-492.
- Sombroek, W.G., F.O. Nachtergaele y A. Hebel. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* **12**: 417-426.

- Sosa, R., H. Bravo, A. Sánchez y M. Jaimes. 2004. El impacto en la calidad del aire por incendios forestales, en L. Villers y J. López (eds.), *Incendios forestales en México. Métodos de evaluación*. UNAM, México pp. 79-97.
- SPGRS. 2007. *Pollinators: Neglected biodiversity of importance to food and agriculture*. Seed and Plant Genetic Resource Service-Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, FAO, Roma.
- SSA. 2005. *Secretaría de Salud*, en <[www.ssa.gob.mx](http://www.ssa.gob.mx)> (consultado en abril de 2006).
- Struhsaker, T.T. 1998. A biologist's perspective on the role of sustainable harvest in conservation. *Conservation Biology* **12**: 930-932.
- Sumner, E.M. 2000. *Handbook of soil science*. CRC Press, Nueva York.
- Suzan, G., G. Ceballos, J. Mills, T.G. Ksiazek y T. Yates. 2001. Serologic evidence of hantavirus infection in Sigmodontine rodents in Mexico. *Journal of Wildlife Diseases* **37**: 391-393.
- Suzan, G. 2005. *The responses of hantavirus host communities to habitat fragmentation and biodiversity loss in Panama*, PhD thesis, The University of New Mexico, Albuquerque.
- Tanner, R.L., W.J. Parkhurst, M.L. Valente, K.L. Humes, K. Jones et al. 2001. Impact of the 1998 Central American fires on PM<sub>2.5</sub> mass and composition in the southeastern United States. *Atmospheric Environment* **35**: 6539-6547.
- Tapia, M., y L. Zambrano. 2003. From aquaculture goal to real social and ecological impacts: Carp introduction in rural central Mexico. *Ambio* **32**: 252-257.
- Torres-Rojo, J.M. 2004. Informe Nacional México, en *Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020*. FAO, Roma. Disponible en <[www.fao.org/docrep/006/j2215s/j2215s00.htm](http://www.fao.org/docrep/006/j2215s/j2215s00.htm)>.
- Turner, B.L.I., S. Cortina Villar, D. Foster, J. Geoghegan, E. Keys et al. 2001. Deforestation in the southern Yucatán peninsular region: An integrative approach. *Forest Ecology and Management* **154**: 353-370.
- UIA. 2005. *Valoración económica de los servicios ambientales prestados por los ecosistemas costeros: estimación del valor económico total del manglar en Marismas Nacionales*. Universidad Iberoamericana-Proyecto Semarnat-Conacyt-2002-C01-0096, México.
- UNEP. 2006. *Marine and coastal ecosystems and human well-being: A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment*. PNUMA, Nairobi.
- Valdés, E., y J.I. Valdez. 2005. *Evaluación del contenido de carbono en suelos de los manglares de Nayarit, México*. Colegio de Postgraduados, Universidad Iberoamericana, Proyecto Semarnat-Conacyt-2002-C01-096, México.
- Villegas, D.G., M.A. Bolaños y P.L. Olguín. 2001. *La ganadería en México. Temas selectos de geografía de México: I. Textos monográficos: 5. Economía*. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Villers, R.L., y I. Trejo-Vázquez. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research* **9**: 87-93.
- Vörösmarty, C.J., C. Lévêque, C. Revenga, R. Bos, C. Caudill et al. 2005. Freshwater, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1, *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 165-207.
- Wardle, D.A., L.R. Walker y R.D. Bardgett. 2004. Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences. *Science* **305**: 509-513.
- WHO. 1999. *Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications*. World Health Organization, Ginebra.
- WHO. 2005. *World Health Organization*, en <[www.who.int/diabetes](http://www.who.int/diabetes)> (consultado en abril de 2006).
- Wood, S., S. Ehui, J. Alder, S. Benin, K.G. Cassman et al. 2005. Food, en R. Hassan, R. Scholes y N. Ash (eds.), *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*, Vol. 1, *Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington, D.C., pp. 209-242.
- Woomer, P.L., y M.J. Swift (eds.). 1997. *The biological management of tropical soil fertility*. John Wiley, Chichester.
- Xolalpa, S., y A. Aguilar 2006. Wareque, raíz medicinal, en C. López, P. Shanley y C. Cuba-Cronkleton (eds.), *Riquezas del bosque: frutas, resinas, remedios y artesanías en América Latina*. Center for International Forestry Research-The Christensen Fund-Overbook Foundation-People and Plants International-Centro de Investigaciones Tropicales, Santa Cruz, Bolivia.
- Zambrano, L., E. Martínez-Meyer, N. Menezes y A.T. Peterson. 2006. Invasive potential of common carp (*Cyprinus carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American freshwater systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Resources* **69**: 1903-1910.
- Zavala-Velázquez, J.E., J. Ruiz-Sosa, I. Vado-Solis, A.N. Billings y D.H. Walker. 1999. Serologic study of the prevalence of rickettsiosis in Yucatán: Evidence for a prevalent spotted fever group rickettsiosis. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **61**: 405-408.