

12 Conservación de especies *ex situ*

AUTORES RESPONSABLES: Maite Lascuráin • Rurik List • Laura Barraza • Edmundo Díaz Pardo • Fernando Gual Sill • Mike Maunder • Jesús Dorantes • Víctor E. Luna

AUTORES DE RECUADROS: 12.1 a 12.3, mismos autores responsables • 12.4, Martín Mata Rosas • 12.5, Antonio Campos Mendoza, Carlos Antonio Martínez Palacios, Lindsay G. Ross

REVISORES: John Fa • Andrew P. Vovides

CONTENIDO

- 12.1 Introducción / 519
 - 12.2 Conservación *ex situ* de especies vegetales / 523
 - 12.2.1 Jardines botánicos / 523
 - *Jardines botánicos en el país* / 524
 - *Las especies de plantas de los jardines botánicos* / 524
 - *Las colecciones nacionales en los jardines botánicos* / 526
 - *Consideraciones y recomendaciones* / 526
 - 12.2.2 Recursos genéticos forestales y bancos de germoplasma / 527
 - 12.2.3 Laboratorios de cultivo de tejidos vegetales / 529
 - 12.3 Conservación *ex situ* de especies animales / 529
 - 12.3.1 Zoológicos, criaderos y acuarios / 531
 - *La Asociación de Zoológicos, Criaderos y Acuarios de la República Mexicana (AZCARM)* / 531
 - *Apoyo a los programas de conservación de las especies silvestres prioritarias* / 532
 - *Investigación* / 532
 - *Proyectos de conservación de las colecciones pertenecientes a la AZCARM* / 532
 - *La infraestructura de los zoológicos* / 534
 - *Plan estratégico de colección y registros* / 534
 - *Participación en talleres de conservación, análisis y manejo planificado de especies silvestres* / 535
 - *Red de Monitoreo del Uso de Animales Silvestres Vivos (Remus)* / 535
 - *Estrategias de Colaboración para la Recuperación de Especies de la AZCARM* / 535
 - *Colecciones vivas en la conservación ex situ de peces dulceacuícolas* / 535
 - 12.4 Conservación *ex situ* de otros organismos / 538
 - 12.5 Las colecciones *ex situ* como herramientas de educación / 539
 - 12.6 Consideraciones finales: hacia un inventario nacional / 540
 - 12.7 Conclusiones / 541
 - Referencias / 542 ▶
-

Lascuráin, M., et al. 2009. Conservación de especies *ex situ*, en *Capital natural de México*, vol. II: *Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 517-544.

Recuadros

Recuadro 12.1. *Métodos ex situ de conservación de plantas* / 520

Recuadro 12.2. *Recomendaciones generales para el desarrollo del proceso ex situ de plantas* / 522

Recuadro 12.3. *Metas de la Estrategia Global para la Conservación Vegetal 2003* / 527

Recuadro 12.4. *Cultivo de tejidos vegetales* / 530

Recuadro 12.5. *Cultivo de Chirostoma estor estor, un pez de importancia tradicional y económica en riesgo* / 537

Apéndices

Apéndice 12.1. *Jardines botánicos de México* / (CD 3)

Resumen

En este capítulo se presenta información de los centros donde se desarrolla la conservación *ex situ* de especies en México, su importancia, tendencias y perspectivas. En cuanto a la flora, se consideran los jardines botánicos, los recursos genéticos forestales y los laboratorios de cultivo de tejidos. Para la fauna, los zoológicos, acuarios y criaderos. Por su biología particular, algunos organismos que se mantienen por su utilidad ecológica, requieren infraestructura y técnicas especializadas; es el caso de levaduras marinas, microalgas, cepas de hongos, dinoflagelados marinos y líquenes, entre otros. La Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C. registra 51 jardines botánicos, de los cuales 37 trabajan activamente. Solo 16 jardines botánicos registrados en 2003 albergan cerca de 37% de los taxa incluidos en la NOM-059-SEMARNAT-2001. En los jardines botánicos mexicanos se trabaja intensamente en la educación ambiental. En cuanto a la conservación de plantas, la labor se dirige sobre todo al cultivo y uso sustentable, y en menor proporción a la investigación. Suponiendo que las 980 especies de plantas mencionadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 necesitaran algún tipo de manejo *ex situ*, idealmente cada jardín botánico debería integrar en sus colecciones 20 de estas especies. La conservación *ex situ* de los recursos genéticos forestales se da básicamente mediante semilleros, plantaciones y bancos de semillas como insumos para los sectores forestal, agrícola y comercial. Existen diversas instituciones que cuentan con laboratorios de cultivo de tejidos vegetales. De los 89 zoológicos registrados ante la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat),

27 forman parte de la Asociación de Zoológicos, Criaderos y Acuarios de la República Mexicana, A.C. (AZCARM). Por otra parte, la Semarnat registra cinco zoológicos con proyectos científicos de investigación con poblaciones. Los proyectos de conservación de especies silvestres de algunos miembros de la AZCARM tienen 37 proyectos que favorecen la conservación de por lo menos 50 especies silvestres. De las 935 especies de vertebrados en riesgo de extinción (excluyendo peces), los ungulados, grandes carnívoros y mamíferos marinos tienen grandes requerimientos de espacio, lo cual hace poco factible mantener poblaciones viables en cautiverio en México. La conservación *ex situ* de peces dulceacuícolas en riesgo se realiza en algunas universidades del país. Los centros de conservación *ex situ* tienen un importante valor educativo potencial y una responsabilidad, tanto para sensibilizar a la población visitante sobre la importancia de la naturaleza y el valor de la conservación, como para la formación de recursos humanos en los niveles medio y superior, sin embargo, con frecuencia estos han sido poco aprovechados. Ante la urgente necesidad de recuperar un alto número de especies, es preciso contar con un inventario nacional de ejemplares con los que se hagan verdaderos esfuerzos de conservación *ex situ*, que fortalezca las capacidades regionales, mejore la infraestructura, servicios, capacitación del personal, presupuesto y mantenimiento. Este inventario ayudará a identificar prioridades e impulsar programas integrales de uso sustentable e investigación científica mediante una coordinación interinstitucional para la conservación *in situ* y *ex situ*.

12.1 INTRODUCCIÓN

La conservación tanto de la flora como de la fauna se desarrolla en dos formas básicas: dentro del hábitat natural o conservación *in situ* y fuera del mismo, es decir, conservación *ex situ*. La conservación *ex situ*, en cautiverio o en colecciones, es la aplicación de una amplia variedad de recursos, técnicas e infraestructuras especializadas que contribuyen a la recuperación y sobrevivencia de individuos o poblaciones fuera de su hábitat (recuadro 12.1). Un objetivo central de la conservación *ex situ* es reducir el riesgo de extinción de especies o poblaciones, en algunos casos con el propósito de restablecer poblaciones nuevas en el hábitat natural.

La conservación *ex situ* es valiosa para realizar estudios sobre distintos aspectos de la biología o conducta de las especies, el desarrollo de vacunas para prevenir enfer-

medades tanto en poblaciones silvestres como en individuos para reintroducirlos al medio silvestre (Wandeler *et al.* 1988; Williams *et al.* 1996; Davis y Elzer 2002) y el desarrollo de técnicas de fertilización o reproducción *in vitro*. Es importante resaltar el hecho de que mantener ejemplares de especies en cautiverio o en colecciones, aunque haya reproducción o investigación, no implica que sea parte de un programa de conservación *ex situ*. La reintroducción o liberación de ejemplares a la vida silvestre es el último paso de la conservación *ex situ*, por lo que esta forma de conservación contribuye al proceso de restauración ecológica, siempre y cuando exista el hábitat disponible y las presiones que originaron la reducción de las poblaciones de estas especies hayan desaparecido.

En algunos casos, cuando la totalidad de las poblaciones silvestres ha desaparecido o los individuos restantes

RECUADRO 12.1 MÉTODOS *EX SITU* DE CONSERVACIÓN DE PLANTAS¹

Criopreservación: semillas, polen o tejidos congelados en nitrógeno líquido, método tradicional para el almacenamiento a largo plazo de taxa agrícolas u hortícolas, usado cada vez más para especies silvestres.

Banco de semillas: semillas almacenadas en condiciones de baja humedad y temperatura; usado rutinariamente para semillas de cultivos ortodoxos y especies silvestres.

Almacenamiento de cultivos de tejidos: tejidos somáticos y semillas que se propagan *in vitro*, usados para la proliferación de plantas clonales y producción controlada de semillas.

Cultivo en instalaciones dedicadas a la conservación: plantas cultivadas en regímenes hortícolas específicos al taxón, con el objetivo de cultivar y propagar especies amenazadas.

Cultivo especializado en ambiente controlado: plantas cultivadas en ambientes artificiales, por ejemplo, especies tropicales dentro de invernaderos con calefacción en regiones templadas.

Cultivo en exhibiciones mixtas o colecciones de referencia: plantas cultivadas como parte de una colección de referencia en condiciones ambientales. La mayoría de los ejemplares se encuentra en jardines botánicos y arboreta, mantenidos dentro de colecciones más grandes, donde el enfoque es la representación taxonómica o exhibición hortícola.

Banco de genes de campo: extensiva plantación a cielo abierto para mantener la diversidad genética de una especie, usado con frecuencia en especies de importancia maderable.

Jardín comunal: cultivos de un grupo comunitario (pueblo o familia) como parte de su agricultura tradicional para producir vegetales útiles, por ejemplo, plantas medicinales.

Zoológicos: colecciones vivas de fauna silvestre abiertas al público, donde los ejemplares están confinados en un ambiente controlado y en los que se reproducen algunas especies para su conservación.

Acuarios: colecciones vivas de fauna marina o dulceacuícola, abiertas al público, donde los ejemplares están confinados en un ambiente controlado y en los que se reproducen algunas especies para su conservación.

Criaderos: centros de reproducción de una o pocas especies con el objetivo de incrementar su número para el comercio o reintroducción al medio silvestre.

Colecciones vivas de peces: colecciones de peces y otros animales acuáticos, no abiertas al público, que mantienen peces para investigación o reproducción en cautiverio.

Reproducción en cautiverio: consiste en trasladar individuos de una especie a condiciones confinadas y controladas para su reproducción, incrementando el tamaño poblacional de la especie.

Reproducción asistida: en la reproducción en cautiverio se puede incrementar el éxito reproductivo mediante la fecundación *in vitro*, la inseminación artificial o la implantación de embriones.

Bancos de genes: espermatozoides, óvulos y embriones se obtienen de individuos vivos o recientemente muertos, para almacenarlos congelados en nitrógeno líquido (criopreservación) para su uso posterior en reproducción asistida.

¹ Adaptado de Maunder *et al.* (2004).

fueron extraídos de su hábitat para evitar su total extinción, la conservación en cautiverio es una estrategia de último recurso, como en el caso del caballo de Przewalski (*Equus przewalskii*), especie que formaba parte de distintas colecciones zoológicas cuando desapareció del medio silvestre, lo que permitió crear un programa de recuperación y eventual reintroducción en Mongolia (FAO 1986; IUCN 2007); o el robin negro de las Islas Chatham (*Petroica traversi*), cuyos últimos individuos fue-

ron sacados de su isla nativa como parte de un programa de recuperación que incluyó la reproducción en cautiverio, traslocación y reintroducción (Butler y Merton 1992; IUCN 2007). En el caso de las plantas, la conservación *ex situ* también ha demostrado su importancia para evitar la extinción de especies, como en el caso de la cícada *Encephalartos woodii*, cuya población, derivada del único individuo recolectado, se encuentra en muchas colecciones del mundo (Norstog y Nocholls 1997).

El Convenio sobre la Diversidad Biológica identifica claramente que la biodiversidad está mejor conservada *in situ*, y como es lógico, esto significa que *ex situ* debe aplicarse como apoyo al imperativo de la conservación *in situ*. Cabe señalar que cuando las amenazas a las especies en su propio hábitat o al hábitat mismo son considerables, las posibilidades de que persistan a largo plazo son remotas, de ahí que sea importante evaluar la necesidad de iniciar un programa de conservación *ex situ*.

La determinación del número de especies en estado crítico y cuáles de ellas podrían ser susceptibles de un rescate *ex situ* requiere estudios de dinámica poblacional, área de distribución, hábitat disponible y su tasa de pérdida. En el capítulo 14 de este volumen se presenta una lista de las especies críticamente amenazadas en función de su distribución microendémica, estados de riesgo, reducción en el número de registros y tiempo sin nuevos registros. El análisis de estos indicadores podría orientar la toma de decisiones para considerar especies candidatas a un programa de conservación *ex situ*.

Algunas organizaciones internacionales, como la Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN 2002), han sugerido algunas directrices técnicas sobre la gestión de poblaciones *ex situ* para su conservación, en las que se señala que las metas de esta gestión son:

- 1] Aumentar la conciencia pública y política, así como la comprensión de temas de conservación importantes y el significado de la extinción.
- 2] La gestión coordinada de la población genética y demográfica de los taxa amenazados.
- 3] La reintroducción y apoyo a poblaciones silvestres.
- 4] La gestión y restauración de hábitat.
- 5] El mantenimiento a largo plazo de bancos de genes y material biológico.
- 6] El fortalecimiento institucional y la capacitación profesional.
- 7] La distribución equitativa de los beneficios.
- 8] La investigación biológica y ecológica sobre cuestiones relevantes para la conservación *in situ*.
- 9] La procuración de fondos para apoyar todo lo anterior.

En general, los esfuerzos para la conservación *ex situ* se han desarrollado en dos vertientes independientes entre sí: la flora y la fauna. La primera incluye los jardines botánicos, los recursos genéticos forestales (semilleros, plantaciones y bancos de semillas) y recientemente los laboratorios de cultivo de tejidos. La segunda la han desarrollado sobre todo zoológicos, acuarios y criaderos, y

en menor grado bancos de semen, óvulos y embriones. Por otro lado, existen grupos de organismos que, por su biología particular, requieren un tipo especial de infraestructura y técnicas para su conservación. Es el caso de levaduras marinas, microalgas, cepas de hongos, cianobacterias, dinoflagelados marinos, líquenes y briofitas, entre otros. Recientemente se han incrementado colecciones *ex situ* de ADN como herramientas para el análisis genético, que al igual que los ejemplares de un museo o de un herbario constituyen valiosos recursos para la investigación, sin fines de propagación o reproducción (véase recuadro 12.1 para una descripción de los métodos *ex situ* de conservación de plantas).

Cabe mencionar que la conservación *ex situ* tiene problemas intrínsecos, como la pérdida de variabilidad genética debida al efecto de fundador que invariablemente se asocia a las poblaciones en cautiverio, al igual que una reducida capacidad de adaptación al medio silvestre conforme las generaciones permanecen en cautiverio (McPhee y Silverman 2004; Kraaijeveld-Smit *et al.* 2006). Los híbridos que no se pueden utilizar en los programas de reproducción en cautiverio también son un problema en la conservación *ex situ*, ya que los individuos híbridos ocupan espacio en las instalaciones y no pueden ser eliminados de la población cautiva por presión del público, tampoco se pueden liberar y ninguna institución de prestigio los acepta (Raloff 1995). Además, el mantenimiento de las especies en cautiverio requiere instalaciones adecuadas y mantenimiento especializado; por lo que el conjunto de todo esto hace que la conservación *ex situ* sea un método costoso, pero en muchos casos indispensable.

En México, la localización geográfica de sitios con experiencias en el manejo *ex situ* es heterogénea y las instituciones asociadas son igualmente diversas, aunque es necesario enfatizar que el hecho de mantener e incluso reproducir especies en riesgo no implica conservación *ex situ de facto*, ya que esta solo se da cuando es parte de un programa integral organizado. De hecho, la Dirección General de Vida Silvestre de la Semarnat tiene registrados 1 622 criaderos intensivos, 418 viveros, 73 jardines botánicos y 89 zoológicos, como Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) intensivas, repartidas en todos los estados del país, pero no se indica cuáles tienen especies en riesgo o participan en programas de recuperación de especies (Semarnat 2008). Varias de ellas están ligadas a herbarios, universidades, centros de investigación científica, asociaciones civiles y gobiernos federal y estatales. También las hay privadas, particularmente zoológicos, acuarios o colecciones muy

RECUADRO 12.2 RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DEL PROCESO *EX SITU* DE PLANTAS¹

Para desarrollar los protocolos de almacenamiento, germinación y propagación se debe utilizar material *ex situ* disponible. Para especies altamente amenazadas se sugiere comenzar con estudios piloto, usando congéneres relacionados pero menos amenazados.

En lo posible, mantener colecciones *ex situ* como semillas inactivas. Para el almacenamiento de semillas el tamaño de la muestra debe ser limitado, principalmente por los recursos disponibles y la capacidad técnica de almacenar semillas por un periodo largo.

Para el desarrollo de protocolos de reintroducción, comenzar con las colecciones más pequeñas y menos valiosas, con el objetivo de plantearse las preguntas de manejo para las reintroducciones experimentales.

Para incrementar la probabilidad de alcanzar poblaciones autosostenibles, recolectar muestras de la selección más grande encontrada de "fundadores" adecuados y hasta donde se considere prudente.

Para especies con 50 poblaciones o menos, recolectar del mayor número de poblaciones, tantas como lo permitan los recursos, pueden ser hasta 50. Para especies con más de 50 poblaciones, recolectar un número que sea práctico, también puede ser hasta 50, siempre tratando de realizar una cobertura ecológica y geográfica máxima. Para las poblaciones con 50 individuos o menos, recolectar todos los individuos conocidos, y para poblaciones con más de 50 individuos, recolectar hasta 50.

Se espera que cosechas frecuentes y menos intensas tengan un efecto más bajo en las poblaciones muestreadas que las cosechas más intensas y poco frecuentes. Siempre que sea posible, distribuir las recolectas a lo largo de uno o dos años, especialmente para poblaciones pequeñas.

Para poblaciones de especies con números extremadamente bajos, en particular aquellas que tienen 10

individuos reproductivos o menos y una historia de poco reclutamiento, o que se sabe que tienen un declive pronunciado, recolectar entre 20 y 100 por ciento de las semillas, de acuerdo con lo que considere adecuado.

Siempre que sea posible, mantener tamaños poblacionales efectivos grandes. Si una población se debe mantener *ex situ* por varias generaciones, se deben hacer migraciones periódicas de la población silvestre fuente, de aproximadamente cinco migrantes/generación e incrementar el tamaño de muestra cada generación.

Cuando se crea una población *ex situ* con base en fundadores silvestres o cuando se reintroduce una especie en la naturaleza usando existencias *ex situ*, es necesario igualar los tamaños de familia, y mantener líneas maternas separadas para permitir el equilibrio de los tamaños de familia en las generaciones futuras.

Minimizar las generaciones en cautiverio e investigar opciones criogénicas de almacenamiento. Si es necesario, mantener una colección viva, y hacerlo en condiciones que imiten regímenes naturales de selección.

La clave para evitar la depresión endogámica es mantener *ex situ* tamaños poblacionales efectivos grandes. Esto es especialmente importante en taxa que se cruzan sobre todo con poblaciones naturales.

Prevenir el cruzamiento entre plantas de diferentes especies y, en la mayoría de los casos, entre individuos de diferentes poblaciones, a reserva de que exista una razón de peso para hacerlo.

Seguir las mejores prácticas de manejo para reducir la probabilidad de diseminación de enfermedades y para documentar la colección. Dar seguimiento a cada individuo en programas de reproducción en cautiverio.

¹ Modificado de Guerrant *et al.* (2004).

especializadas, así como orquidarios. En la mayor parte de los casos, los centros de conservación *ex situ* se encuentran dentro o alrededor de las grandes ciudades. Los criaderos, en cambio, con frecuencia están lejos de ciudades y pueblos, ya que el objetivo es producir animales para repoblación o cacería, por lo que se busca reducir el contacto con la gente. Ejemplos de esto son el criadero de berrendos (*Antilocapra americana*) en la Reserva de la Biosfera del Vizcaíno y el de borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) en el Área de Protección de Flora y Fauna de Maderas del Carmen.

La importancia de la conservación *ex situ* es trascendente. Por ejemplo, en México existen casos en que esta actúa manteniendo la totalidad de la población de algunas especies, como sucedió con la paloma de Socorro (*Zenaida graysoni*), la cual fue eliminada de su medio silvestre en el Archipiélago de Revillagigedo, pero se mantienen alrededor de 100 individuos en zoológicos de Alemania, Estados Unidos e Inglaterra (Ceballos y Eccardi 2003; WAZA 2007). Mediante otros proyectos se ha logrado reintroducir al medio silvestre especies extirpadas, como el cóndor de California (*Gymnogyps californicus*).

nianus) en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, y el hurón de patas negras (*Mustela nigripes*) —en colonias de perros llaneros— en Janos, Chihuahua (Lockhart *et al.* 2003).

En el caso de plantas severamente amenazadas o extintas, hay ejemplos en los que mediante la propagación y mantenimiento en cultivo *ex situ* se protegen especies como el eloxóchitl (*Magnolia dealbata*) que se consideraba extinta hasta que en 1960 se localizó una población en el estado de Hidalgo, y posteriormente en 1977 se encontró otra en Veracruz (Carvajal 1993; Mata-Rosas *et al.* 2006); o como el caso de *Bletia urbana*, en peligro de extinción, con pocos individuos y poblaciones escasas, cultivada *in vitro* y reintroducida a su hábitat en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (Rublucio *et al.* 1993), mientras que la “planta de chocolate” (*Cosmos atrosanguineus*) solo se encuentra en colecciones *in vitro* y en invernaderos (Ortega *et al.* 1997).

12.2 CONSERVACIÓN EX SITU DE ESPECIES VEGETALES

Este apartado se conforma por una parte introductoria que describe de manera general las acciones de conservación que actualmente se realizan en los jardines botánicos del país, todos ellos miembros de la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C. Asimismo se hace una descripción del número de especies de plantas, las principales familias y las colecciones nacionales que albergan los jardines botánicos. En la última parte se sugieren algunas recomendaciones que consideramos merecen ser atendidas. Finalmente, se señalan aspectos generales de los recursos genéticos forestales y laboratorios de cultivo de tejidos vegetales (recuadro 12.2).

12.2.1 Jardines botánicos

Un jardín botánico se define como “una institución que mantiene colecciones documentadas de plantas vivas con el propósito de realizar investigación científica, conservación, exhibición y educación”. Algunas de las características y funciones propias de un jardín botánico son: “que las plantas estén adecuadamente etiquetadas, que el jardín mantenga comunicación con otros jardines botánicos, organizaciones y público en general, que esté abierto al público y asuma la responsabilidad y compromiso a largo plazo para el mantenimiento de las colecciones de plantas” (Wyse Jackson y Sutherland 2000).

Desde 1983 la Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C. (AMJB) agrupó a los jardines botánicos del país con la finalidad de formar profesionales y crear vínculos de colaboración e intercambio de experiencias académicas y técnicas. Asimismo, promueve programas de conservación, educación y uso de las plantas mexicanas. De acuerdo con la AMJB, los jardines botánicos del país se concentran en tres actividades principales:

Investigación: se realiza con diferentes orientaciones y en contextos institucionales distintos. Entre las líneas principales están: etnobotánica, sistemática, educación ambiental, ecología, horticultura, florística y propagación *in vitro* y con métodos tradicionales. Tal es el caso del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM, reconocido por sus aportaciones a la sistemática, etnobotánica y cultivo de tejidos vegetales.

Conservación: las especies de plantas que conforman un jardín botánico y sus propósitos obedecen a criterios de diversa índole (infraestructura física y administrativa, presupuesto y situación geográfica, entre otros), e incluso a valores y vocaciones institucionales. Es frecuente que las funciones de conservación estén ligadas a proyectos de investigación y a una amplia gama de propósitos educativos y de recursos *in situ* o externos de exhibición. También existen ejemplos destacados de proyectos de conservación *in situ* que realizan acciones de desarrollo sustentable en comunidades locales, recuperación de especies en peligro, reintroducción de plantas, como la recuperación y difusión de variedades de maíces criollos en el Jardín Etnobotánico de Oaxaca (Salcedo y De Ávila 2006) y el Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero, en Xalapa, Veracruz, que impulsa viveros campesinos sustentables de cícadas (Vovides *et al.* 2002), entre otros ejemplos.

Educación e interpretación ambientales. La mayoría de las colecciones depositadas en los jardines botánicos tienen fines de exhibición y educación ambiental. La educación ambiental y la difusión son acciones que se desarrollan en buena parte de los jardines botánicos del país y cuentan con departamentos o áreas de educación (Gómez y Lascuráin 2006). Algunos de ellos tienen un alto nivel de reconocimiento regional, nacional e internacional, como los casos del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México; el Jardín Botánico El Charco del Ingenio, San Miguel de Allende, Guanajuato; el Jardín

Botánico Regional de Cadereyta Manuel González de Cosío, del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro, entre otros igualmente apreciables.

Jardines botánicos en el país

La Estrategia de Conservación para los Jardines Botánicos Mexicanos 2000 de la AMJB (Rodríguez-Acosta 2000) tiene registrados 51 jardines botánicos oficiales, que efectúan programas de investigación, educación, conservación y que mantienen colecciones documentadas. En realidad son alrededor de 37 los jardines botánicos activos que la AMJB registró durante el periodo 2000-2006 (apéndice 12.1, en el ^{CD}3).

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca consideraba que “los viveros, como los jardines botánicos, son unidades para la conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre, que mantienen ejemplares de especies y subespecies de flora nacional y exótica, destinadas a su reproducción artificial bajo condiciones controladas como Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre”. En 1999 registraba 48 jardines botánicos en el país.

Las especies de plantas de los jardines botánicos

Coombes *et al.* (2003) compilaron una lista de las especies de plantas registradas en 16 jardines botánicos en México. Los resultados señalan que estos cuentan con 198 familias y 3 275 especies, lo que representa más de 10% del total de las especies registradas de México, aunque no todas las especies incluidas en estos jardines son nativas. Estos autores registran 21 familias con más de 20 especies cada una, las cuales suman en total 2 426, siendo las cactáceas, orquídeas y agaváceas las más destacadas en cuanto a su número (cuadro 12.1).

De un total de 1 588 especies amenazadas en México, según la Unión Mundial para la Naturaleza (Walter y Gillet 1998), 417 de ellas, gran parte nativas del país, se encuentran en jardines. “La mayoría corresponden a las categorías de raras y vulnerables y en menor grado a especies en peligro o indeterminadas” (Coombes *et al.* 2003) (cuadro 12.2).

Gracias a este estudio se puede determinar que los 16 jardines botánicos registrados en 2003 albergan aproximadamente 363 especies de los 980 taxa incluidos en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002) (cuadro 12.3). Suponiendo que las 980 especies mencionadas necesitaran algún tipo de manejo *ex situ*, idealmente cada jardín

Cuadro 12.1 Familias y número de especies en los jardines botánicos

Familia (con más de 20 especies)	Número de especies ¹
Cactaceae	757
Orchidaceae	370
Agavaceae	225
Arecaceae	145
Fabaceae	127
Crassulaceae	115
Asteraceae	91
Euphorbiaceae	74
Zamiaceae	63
Araceae	62
Poaceae	55
Bromeliaceae	53
Solanaceae	46
Fagaceae	38
Nolinaceae	34
Moraceae	33
Rubiaceae	32
Commelinaceae	28
Apocynaceae	26
Rutaceae	26
Verbenaceae	26
Total	2 426

¹ De acuerdo con Coombes *et al.* (2003).

botánico debería integrar en sus colecciones, en promedio, 20 de estas especies.

Lo anterior significa que en los jardines botánicos se tiene aproximadamente 37% de especies dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002) y donde las familias Cactaceae, Orchidaceae, Palmae, Zamiaceae, Magnoliaceae, Nolinaceae, Agavaceae y Crassulaceae están representadas en una buena proporción en estos jardines. En cambio, Pinaceae, Bromeliaceae, Rubiaceae, Fabaceae y Cyatheaceae requieren mayores esfuerzos de conservación *ex situ* en los jardines botánicos, de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002).

La AMJB, por medio de su Plan de Acción (que está en revisión), se compromete a tener 40% de las especies y 5% más en programas de recuperación y restauración, tomando como referencia la NOM-059-SEMARNAT-2001.

Cuadro 12.2 Especies amenazadas en México y especies presentes en los jardines botánicos mexicanos

Categoría	Especies amenazadas en México ¹	Especies en jardines botánicos ^{2, 3}
Vulnerables	443	143
Raras	801	185
Indeterminadas	110	36
En peligro	234	53
Total	1 588	417

¹ Según Walter y Garriet (1998).

² Coombes *et al.* (2003).

³ Aproximadamente 90% son nativas de México.

Cuadro 12.3 Especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001, documentadas en el año 2003 en 16 jardines botánicos

Familia	Especies en la NOM-059-SEMARNAT-2001	Especies en jardines botánicos
Aceraceae	2	2
Agavaceae	39	29
Anacardiaceae	2	1
Bromeliaceae	21	3
Cactaceae	285	188
Chrysobalanaceae	1	1
Combretaceae	2	1
Cornaceae	1	1
Crassulaceae	18	9
Cupressaceae	6	2
Cyatheaceae	13	1
Fabaceae	16	1
Fouquieriaceae	5	2
Lauraceae	1	1
Magnoliaceae	5	4
Marattiaceae	2	1
Nolinaceae	16	11
Nymphaeaceae	5	2
Orchidaceae	181	26
Palmae	64	34
Pinaceae	36	4
Polypodiaceae	6	1
Rhizophoraceae	1	1
Rubiaceae	20	1
Sapotaceae	2	1
Sterculiaceae	1	1
Verbenaceae	1	1
Zamiaceae	43	32
Zygophyllaceae	2	1
Total	797	363

Fuentes: Semarnat (2002); Coombes *et al.* (2003).

Estos proyectos contribuirán al objetivo mundial que marca la Estrategia Global para la Conservación Vegetal (2003) de mantener 60% de las especies en peligro de extinción en cultivo *ex situ*. Además, entre otros aspectos, la AMJB está trabajando intensamente en la definición de criterios curatoriales y de mantenimiento del material que cada jardín botánico debe vigilar.

Las colecciones nacionales en los jardines botánicos

Estas colecciones son grupos de plantas vivas establecidas con criterios utilitarios, taxonómicos, geográficos u otros, debidamente documentadas y mantenidas, que contienen el máximo de especies mexicanas del grupo en cuestión. La AMJB señala que las colecciones nacionales constituyen recursos para la investigación científica, la educación y la difusión.

Estas colecciones se crearon “con los objetivos de optimizar los recursos económicos y apoyar eficientemente la política de conservación del país, al mismo tiempo que se abaten los costos de mantenimiento de las colecciones, ya que las plantas están adaptadas a las condiciones climáticas de la región” (Asociación Mexicana de Jardines Botánicos 1994). La AMJB ha señalado que “las instituciones que propongan o alberguen colecciones nacionales deben asegurar la mayor diversidad del grupo, ser las más importantes en su género, concienciar a las autoridades de su importancia para posible consecución de fondos y asegurar su permanencia por tiempo indefinido”.

Hasta 2005 la AMJB reconoce cinco colecciones nacionales: la de Agaváceas y de Crasuláceas, con el total de las especies de México, pertenecientes al Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México en la Ciudad de México; la de Plantas Medicinales del Jardín Etnobotánico del Instituto Nacional de Antropología e Historia, en Morelos; la de bambúes nativos de México y cícadas del Jardín Botánico Francisco Javier Clavijero, Instituto de Ecología, A.C., en Veracruz; las dos colecciones restantes son de índole regional: la de palmas del Jardín Botánico Xiitbal Neek' del Centro de Investigación Científica de Yucatán, en Yucatán, y la de Plantas Acuáticas del Jardín Botánico de la Fundación Xochitla, A.C., en el Estado de México.

Consideraciones y recomendaciones

Los jardines botánicos de México tienen una valiosa experiencia acumulada a partir de su desarrollo en los años cincuenta, principalmente en las regiones centro y sur

del país. Sin embargo, todavía se subutilizan como recursos para la conservación *ex situ* y necesitan mayor apoyo, pues pueden cumplir una función cada vez más importante en la generación de fondos y en el apoyo político para la conservación *in situ* (Maunder *et al.* 2004). Esto es fundamental porque los jardines botánicos están dentro de las acciones de la Estrategia Global para la Conservación Vegetal (2003), derivada del Convenio sobre la Diversidad Biológica. El elemento más innovador de la Estrategia es la inclusión de 16 metas cuantificables que se pretenden cumplir antes de 2010 (recuadro 12.3). Este sistema de metas proporciona un marco para las acciones de conservación de plantas, el uso sostenible, el acceso y reparto equitativo de beneficios y la capacitación en los ámbitos global, regional, nacional y local. Actualmente la AMJB está haciendo una valoración del efecto y cumplimiento de estos objetivos.

Hasta ahora las tendencias indican que en los jardines botánicos mexicanos se trabaja de manera notable en la educación ambiental. La conservación de plantas se desarrolla principalmente en relación con el cultivo y uso sustentables, y en menor proporción se dedican a la investigación. Es conveniente revisar si estos trabajos coinciden con la Estrategia de Conservación para los Jardines Botánicos Mexicanos 2000 de la AMJB (Rodríguez-Acosta 2000), el Plan de Acción de la AMJB, la Estrategia Mexicana para la Conservación Vegetal (CONABIO, Conanp y Semarnat 2008) y otros acuerdos internacionales como la North American Botanic Garden Strategy for Plant Conservation (2006) celebrado entre Canadá, Estados Unidos y México, la Estrategia Global para la Conservación Vegetal (2003) y la International Agenda for Botanic Gardens in Conservation (Wyse Jackson y Sutherland 2000).

Cabe señalar que las exhibiciones de individuos de especies en riesgo de extinción no constituyen recursos para la conservación *ex situ* si no están vinculadas a estudios interdisciplinarios y a la gestión de acciones para su protección y conservación. Los programas de conservación *ex situ* de los jardines botánicos del país deben contemplar una perspectiva regional y realizar un análisis de la representatividad genética, situación fitosanitaria y prácticas hortícolas de al menos las colecciones o individuos que pueden incorporarse a un programa científico de recuperación de especies (estudios genéticos y ecológicos, y si es el caso, el manejo y conocimiento tradicional de la especie) (Lascuráin *et al.* 2006; Vovides 2006) con fines de reintroducción y restauración. De ahí que la investigación científica deba ser uno de los trabajos centrales en los jardines botánicos, considerando las

RECUADRO 12.3 METAS DE LA ESTRATEGIA GLOBAL PARA LA CONSERVACIÓN VEGETAL 2003

- a) *Comprender y fundamentar la diversidad de especies vegetales:*
- 1) Elaborar un inventario provisional ampliamente accesible de las especies vegetales conocidas, como paso hacia la realización de una lista completa de la flora mundial.
 - 2) Realización de una evaluación preliminar de la situación de conservación de todas las especies vegetales conocidas en los ámbitos internacional, regional y nacional.
 - 3) Elaboración de modelos con protocolos de conservación y uso sustentable de las especies vegetales con base en la investigación y en la experiencia prácticas.
- b) *Conservar la diversidad vegetal:*
- 4) Conservar con eficacia al menos 10% de las regiones ecológicas del mundo.
 - 5) Asegurar la protección de 50% de las zonas más importantes del mundo en diversidad vegetal.
 - 6) Lograr que por lo menos 30% de los terrenos de producción se administren en consonancia con los principios de la conservación de la diversidad vegetal.
 - 7) Conservar *in situ* 60% de las especies amenazadas del mundo.
 - 8) Lograr que 60% de las especies vegetales amenazadas y que se encuentran en colecciones puedan estar disponibles *ex situ*, de preferencia en el país de origen, y que 10% de ellas sean objeto de programas de recuperación y regeneración.
 - 9) Conservar 70% de la diversidad genética de cultivos y otras especies vegetales importantes y socioeconómicamente valiosas, así como de los conocimientos locales e indígenas conexos.
- 10) Establecer planes de gestión para al menos 1 000 de las principales especies exóticas que amenazan a las especies vegetales, las comunidades vegetales y los ecosistemas relacionados.
- c) *Utilizar la diversidad de especies vegetales de modo sostenible:*
- 11) No utilizar ninguna especie de la flora silvestre en peligro de extinción para el comercio internacional.
 - 12) Al menos 30% de los productos derivados de especies vegetales deben ser obtenidos de fuentes gestionadas de forma sostenible.
 - 13) Detener la reducción de los recursos de especies vegetales, y de las correspondientes innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales, que prestan apoyo a medios de vida sostenibles, seguridad alimentaria y sanidad local.
- d) *Promover la educación y toma de conciencia sobre la diversidad de las especies vegetales:*
- 14) Incorporar en los programas docentes y de concienciación del público la importancia de la diversidad de las especies vegetales y la necesidad de su conservación.
- e) *Crear la capacidad para la conservación de la diversidad de las especies vegetales:*
- 15) Aumentar el número de profesionales que trabajan en instalaciones especializadas en la conservación de especies vegetales, según las necesidades nacionales, para lograr los fines de esta Estrategia.
 - 16) Establecer o fortalecer las redes para actividades de conservación de especies vegetales en los ámbitos internacional, regional y nacional.

especies prioritarias para la región que estén incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002) u otras herramientas nacionales e internacionales, de preferencia ligadas a algún uso económico, social y cultural. Esto contribuirá a generar una garantía real de su recuperación. Con una visión contemporánea, las colecciones nacionales y otros modelos de conservación de plantas vivas pueden ser un medio eficiente para la protección integral de plantas del país. Además, es importante considerar la oportunidad educativa para promover la con-

servación de especies y su hábitat en México, actividad que la mayoría de los jardines botánicos lleva a cabo.

12.2.2 Recursos genéticos forestales y bancos de germoplasma

La conservación *ex situ* de los recursos genéticos forestales básicamente se hace con semilleros, plantaciones y bancos de semillas (cuadro 12.4). En general, constituyen insumos para los sectores forestal, agrícola y comercial

Cuadro 12.4 Instituciones que manifestaron llevar a cabo acciones de conservación *ex situ* relacionadas con recursos genéticos forestales

Institución	Acción
Comisión Nacional Forestal	30 bancos de semillas distribuidos en todo el territorio nacional. Plantaciones de diversas especies en todo el país. Establecimiento de plantaciones denominadas "Nuevos Bosques"
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	Diversas plantaciones en sus campos experimentales. Se incluyen arboreta, ensayos de especies y procedencias. Diversas colecciones como maíz y otros
Centro de Genética Forestal, A.C.	Establecimiento de 12 ensayos de procedencia, principalmente con especies de coníferas, pero no hubo seguimiento
Central America and Mexico Coniferous Forest Resources Cooperative (Camcore)	Trabajos de conservación con ocho especies mexicanas de coníferas, con ensayos en Sudáfrica y Sudamérica
Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana	15 huertos semilleros y ensayos de procedencia/progenie en el estado de Veracruz, sobre todo con especies de coníferas y algunas latifoliadas
Universidad Autónoma Chapingo	Un arboretum en su campus con más de 23 especies de pinos mexicanos. Un Banco Nacional de Germoplasma y plantaciones en sus centros regionales de 50 razas de maíz. 18 345 colectas vegetales de material diverso
Colegio de Postgraduados	Cinco huertos semilleros y tres ensayos de procedencia/progenie con coníferas
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Establecimiento de huertos semilleros y ensayos de procedencia/progenie, sin precisar el número
Universidad de Guadalajara	Un huerto semillero
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Trabajos de conservación <i>ex situ</i> con especies de coníferas, sin precisar detalles
Universidad de Tlaxcala	Conservación <i>ex situ</i> con diversas especies, sin precisar cuáles

relacionados con el fitomejoramiento; así, son recursos utilizados en el corto plazo.

Recientemente se han desarrollado nuevas iniciativas, como en el caso del Banco de Semillas UNAM-Iztacala, vinculado a programas *in situ* de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Otro proyecto destacado es el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo, en el cual se depositaron semillas de importancia comestible y medicinal de un total de 128 familias, 238 géneros y 352 especies, incluyendo 754 variantes infraespecíficas (Universidad Autónoma Chapingo 2006).

En México está la sede del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), que pertenece al Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional, el cual desarrolla investigación científica, capacitación y custodia relacionada con bancos de germoplasma de maíz y trigo. Por medio de su Centro de Recursos Filogenéticos Wellhausen-Anderson, el CIMMYT cuenta con una capacidad de almacenaje de 450 000 mues-

tras de semilla, tiene aproximadamente 17 000 muestras de maíz y teocinte, 130 000 de Triticeae, así como colecciones de cebada, centeno y parientes primitivos silvestres de trigo. Este centro también mantiene una colección viva de especies de *Tripsacum* (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo 2008).

A continuación se destacan algunas de las actividades de conservación *ex situ* surgidas del sector gubernamental:

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha establecido plantaciones, ensayos de procedencia y huertos semilleros. También se han sumado a estos esfuerzos otras instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo, el Centro de Genética Forestal, A.C., el Colegio de Postgraduados, el Instituto de Genética Forestal de la Universidad Veracruzana, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

En 1997 la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca creó programas para la recolecta y

conservación de semillas y establecimiento de plantaciones, incorporando principios de conservación *in situ* y *ex situ*, especialmente en el Pronare (Programa Nacional de Reforestación), pero estos programas no tuvieron continuidad en el siguiente sexenio y fueron modificados de acuerdo con los planes y programas de la nueva administración.

En el año 2001 la Conafor (Comisión Nacional Forestal) también estructuró un programa con el fin de manejar los recursos genéticos forestales adecuadamente. La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable establece los mecanismos para la recolecta, intercambio y conservación de los recursos naturales. En 2004, en una consulta con el sector forestal nacional, se estructuró el Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales (PNMRGF), donde expertos en conservación y manejo de recursos genéticos dieron forma y contenido al documento, que en su capítulo IV hace referencia amplia a la conservación tanto *in situ* como *ex situ*.

Por otra parte, en 2005 la Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) documentó los proyectos que se habían realizado en todo el país, así como los que se encontraban sin concluir, en especial los dedicados a recursos fitogenéticos de importancia agrícola. La Somefi (Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.) es la responsable de sistematizar la información en el ámbito nacional. Carnevali Fernández-Concha *et al.* (2004) mencionan la colección de germoplasma de *Agave* spp. y *Cocos nucifera*, ambos del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. en la ciudad de Mérida.

12.2.3 Laboratorios de cultivo de tejidos vegetales

En nuestro país, estos laboratorios almacenan tejido reproductivo y somático, los cuales contribuyen en menor o mayor medida a la conservación *ex situ*, debido a que representan recursos de gran relevancia y disponibles para la conservación, la investigación y la formación de recursos humanos. Algunas instituciones de investigación y universidades cuentan con este tipo de laboratorios, por ejemplo, el Centro de Investigación Científica de Yucatán, en Mérida; la Universidad Autónoma de Morelos; el Centro de Investigación en Biotecnología, en Cuernavaca, Morelos; el Instituto Nacional de Investigaciones sobre los Recursos Naturales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en Morelia; el Instituto de Ecología, A.C., en Xalapa, Veracruz (recua-

dro 12.4); la Universidad Autónoma de Aguascalientes, el Centro de Ciencias Básicas en Aguascalientes; el Jardín Botánico del Instituto de Biología y el Instituto de Química, pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de México, en la Ciudad de México, entre otros.

12.3 CONSERVACIÓN *EX SITU* DE ESPECIES ANIMALES

México ocupa el primer lugar en el mundo en número de especies de reptiles (804), el tercero en mamíferos (535), el cuarto en anfibios (361) y el undécimo en aves (1 096), por lo que el número de especies de vertebrados en riesgo también es muy alto: 230 mamíferos, 329 aves, 96 reptiles y 212 anfibios (Ceballos *et al.* 2000; Flores-Villela y Canseco-Márquez 2004; Ceballos y Oliva 2005; Santos Barrera y García Aguayo 2006; véase el capítulo 11 del volumen I); de ellas, por lo menos cuatro todavía existen gracias a que antes de desaparecer del medio silvestre se formaron grupos reproductivos en cautiverio: la paloma de Socorro desapareció de la Isla Socorro y actualmente solo se le encuentra en aviarios de Estados Unidos y Europa, aunque hay planes para reintroducirla a su hábitat original (Ceballos y Eccardi 2003); en el año 2001 comenzó un programa de reintroducción del hurón de patas negras (*Mustela nigripes*) en Janos, Chihuahua, con individuos provenientes de distintos grupos reproductivos en cautiverio en Estados Unidos y Canadá (Lockhart *et al.* 2003); el cóndor de California (*Gymnogyps californianus*) fue reintroducido en México en 2002, en la Sierra de San Pedro Mártir en Baja California, con individuos criados en Estados Unidos; y el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) se reintrodujo en 1998 en Arizona, con animales reproducidos en instalaciones *ex situ* de México y Estados Unidos (List 2005). La formación de poblaciones reproductivas *ex situ* de especies en inminente peligro de desaparecer (véase listado de especies en los apéndices del capítulo 14), como la rata canguro de San Quintín (*Dipodomys gravipes*), la liebre tropical (*Lepus flavigularis*) o el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), manejadas adecuadamente, podrían asegurar su persistencia mientras se realizan acciones que recuperen el hábitat o detengan las causas de su desaparición.

A continuación se presenta una introducción a las colecciones de fauna como centros de conservación *ex situ*. Se describe la participación de las colecciones vivas pertenecientes a la Asociación de Zoológicos, Criaderos y Acuarios de la República Mexicana (AZCARM) en pro-

RECUADRO 12.4 CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES

Martín Mata Rosas

De manera general, el cultivo de tejidos vegetales (CTV) es un término que se usa para describir diferentes técnicas de cultivo de células, tejidos u órganos en un medio nutritivo en condiciones asépticas y con la capacidad de regenerar individuos completos, los cuales se pueden desarrollar hasta la madurez. Las diferentes técnicas de CTV se han empleado para el estudio y propagación de una gran variedad de especies y en las últimas dos décadas el CTV ha demostrado su gran utilidad para propagar especies en peligro de extinción, ya que ofrece la posibilidad de producir plantas a tasas más altas que las que se obtienen mediante procedimientos tradicionales de cultivo. Por tanto es necesario desarrollar metodologías que provean una propagación eficiente de estas especies, las cuales pueden ser la base para su conservación y uso sustentable. A pesar de que se han establecido las bases generales del cultivo de tejidos, es necesario para cada especie y genotipo determinar los requerimientos específicos para su propagación *in vitro*, lo cual se logra mediante la experimentación. Así, en el laboratorio de CTV del Instituto de Ecología, A.C., se están empleando las técnicas de cultivo de tejidos para la propagación de especies en alguna categoría de conservación y trabajando preferentemente con especies endémicas y en peligro de extinción. Entre las especies en que se ha logrado establecer protocolos eficientes de propagación se pueden citar diferentes árboles como *Magnolia dealbata* (Fig. 1a), *Cornus florida* y *Dyospiros riojae*, los cuales se han regenerado por medio de organogénesis directa y embriogénesis somática; se ha conseguido micropropagar diversas especies de

orquídeas, entre ellas *Lycaste skinneri*, *Oncidium tigrinum*, *Mormodes tuxtelensis*, *Laelia anceps*, *Cuitlauzina pendula*, *Stanhopea tigrina*, en las que se han establecido protocolos de micropropagación a partir de protocormos. Además, con el laboratorio de CTV del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México se trabaja desde hace más de 10 años en la propagación de diversas especies de la familia Cactaceae, donde se establecieron protocolos de regeneración mediante organogénesis directa e indirecta, así como embriogénesis somática; solo por mencionar algunas especies: *Turbincarpus laui*, *T. pseudopectinatus*, *Mammillaria pectinifera* (Fig. 1b), *Ariocarpus kotchoubeyanus*, *Pelecyphora aselliformis*, *P. strobiliformis*, *Leuchtenbergia principis*, *Astrophytum ornatum*.

En todos los casos, tanto los brotes como los embriones somáticos se han desarrollado hasta formar plantas completas, que se han establecido con éxito en condiciones *ex vitro* (invernaderos y viveros).

Con el CTV es posible, junto con las acciones tomadas *in situ*, contribuir significativamente a la conservación de especies en peligro de extinción, ya sea mediante la propagación masiva de individuos de interés comercial, que satisfagan la demanda del mercado, con lo que se podría reducir la presión de colecta de individuos en las poblaciones naturales; por otro lado, combinado con estudios genéticos y ecológicos puede ser la base para reintroducir individuos a sus hábitats originales.



Figura 1 (a) Embriogénesis somática en *Magnolia dealbata*. (b) Brotación múltiple en *Mammillaria pectinifera*.

gramas de recuperación de especies prioritarias, así como la de otros proyectos de conservación, mejora de las instalaciones y adopción de sistemas de registro de ejemplares como un aspecto importante para una participación efectiva en la conservación *ex situ*. Finalmente, se describe la función de las colecciones de peces en la conservación *ex situ* de peces dulceacuícolas.

12.3.1 Zoológicos, criaderos y acuarios

El concepto moderno de zoológico surge en 1959, en la Isla de Jersey, Reino Unido, donde Gerald Durrell creó un zoológico en el que además de exhibir animales silvestres y educar a los visitantes, consideraba el problema creciente de preservar la vida silvestre de todo el mundo (Durrell y Durrell 1996). Así comenzó la evolución del concepto de zoológico y de las funciones que debería cumplir. Actualmente se cree que para justificar su existencia, un zoológico (aunque esto se aplica a todas las colecciones vivas abiertas al público) debe contribuir de forma directa e indirecta a conservar la diversidad biológica, mediante la educación de los visitantes, actividades de comunicación y difusión, apoyo a la investigación, capacitación, reproducción de especies y fomento de una ética en la relación entre los seres humanos y la naturaleza, lo que lleva a una conservación integrada en las colecciones vivas (Cuarón 2004, 2005; Hutchins y Wiese 1995). Los zoológicos están comenzando a participar en el seguimiento del comercio de especies silvestres, al integrar registros de los animales que llegan a los zoológicos como decomisos por parte de las autoridades o como donaciones de particulares, lo cual también influye en la conservación de estas especies (Woodroffe 1981; Tudge 1992; Cuarón 2005).

La tendencia de los zoológicos en todo el mundo, incluyendo muchos de los de México, es aplicar, en la medida de sus posibilidades, la Estrategia Mundial de Conservación en Zoológicos y Acuarios (EMCZA) publicada a principios del año 2005 por la Organización Mundial de Zoológicos y Acuarios (WAZA 2005). La EMCZA integra el papel de los zoológicos y acuarios del mundo en la conservación global. Esta Estrategia fue sumamente importante para difundir los objetivos primordiales de los zoológicos y para establecer las bases de entendimiento y dirección unificada de estas instituciones. De acuerdo con la Estrategia, las instituciones zoológicas deben evolucionar para constituir centros de conservación donde se concientice a los visitantes acerca de las relaciones sostenibles entre los seres humanos y la naturaleza, in-

culcar el valor de los ecosistemas y la necesidad de conservar la biodiversidad, practicar la ética conservacionista y colaborar con otras instituciones de conservación. De esta forma, los zoológicos, acuarios y jardines botánicos tienen la oportunidad de establecerse como modelos de conservación integrada. Esto requiere que quienes trabajan con las colecciones vivas integren a sus tareas actividades de conservación. Los elementos fundamentales en que se deben basar son los valores de sustentabilidad y conservación, además de la responsabilidad social y ambiental; las principales actividades deben dirigirse a la conservación de las especies amenazadas y el mantenimiento de un ecosistema sano.

Lamentablemente, muchas de las colecciones vivas de fauna abiertas al público en México, no asumen su responsabilidad en la conservación de la biodiversidad ni sus visitantes se llevan un mensaje positivo acerca de la importancia de la naturaleza. Por ejemplo, solamente 5% de los zoológicos tienen programas de evaluación continua de sus actividades educativas dirigidas al visitante, y la mayoría carece de registros del linaje de los individuos que les permita participar en programas de reproducción oficiales.

La Asociación de Zoológicos, Criaderos y Acuarios de la República Mexicana (AZCARM)

De los 88 zoológicos registrados ante la Dirección General de Vida Silvestre de la Semarnat, 27 forman parte de la AZCARM, organización creada con la finalidad de trabajar en colaboración para el desarrollo de los distintos zoológicos, criaderos y acuarios de nuestro país mediante programas de conservación, investigación científica y educación ambiental. Su misión es promover el desarrollo integral de estos sitios fortaleciendo lazos de cooperación nacionales e internacionales, ofreciendo a sus asociados representación, asesoría, capacitación y gestión de recursos que apoyen el cumplimiento de sus objetivos y el aprovechamiento sustentable y conservación de flora y fauna silvestres con una visión de compromiso social y ético.

Al estar conformada por zoológicos y acuarios de diversas regiones de México, la AZCARM coadyuva en la conservación de la vida silvestre, terrestre y acuática, tanto *in situ* como *ex situ*. Esto lo lleva a cabo con desarrollo, promoción, coordinación y apoyo de estrategias de trabajo, estudio, investigación, capacitación, manejo, reproducción, educación ambiental e intercambio de ejemplares con fines de conservación y aprovechamiento

sustentable de las especies silvestres de cada institución, asimismo refuerza el apoyo y colaboración del resto de las instituciones que la conforman para crear proyectos integrales. También, promueve con carácter prioritario la recuperación de especies mexicanas en peligro de extinción o en cualquier otra categoría de riesgo, según la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002), la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (Cites) o la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN). Como ejemplo, el Zoológico Africam Safari tiene una oficina de representación del Grupo de Especialistas en Reproducción para la Conservación de la UICN (Conservation Breeding Specialist Group), que lleva a cabo talleres de análisis de viabilidad de poblaciones para especies en riesgo en la región mesoamericana.

Apoyo a los programas de conservación de las especies silvestres prioritarias

El Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el Sector Rural 1997-2000, del Instituto Nacional de Ecología, de la entonces Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap), consideró 22 especies como prioritarias, 10 de las cuales son mamíferos o reptiles marinos o acuáticos. El resto de las especies incluye seis mamíferos terrestres, tres aves y tres reptiles. Aunque no se tienen los datos exactos, muchos zoológicos de México cuentan en su colección con ejemplares de lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*), oso negro (*Ursus americanus*), borrego cimarrón, águila real (*Aquila chrysaetos*), jaguar (*Panthera onca*), guacamaya verde (*Ara militaris*), guacamaya escaflata (*Ara macao*), cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*), cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletti*), caimán (*Caiman crocodylus*) y manatí del Caribe (*Trichechus manatus*), todas consideradas prioritarias por la Semarnat, y desarrollan programas de educación e investigación con muchas de ellas, como el lobo mexicano y el jaguar, por lo que de forma indirecta colaboran en la conservación de estas especies. Asimismo, el personal de los zoológicos participa en los Subcomités Técnicos Consultivos para la Conservación de Especies Prioritarias. El Comité Técnico Consultivo lo creó la Semarnap para reunir a los expertos en una serie de especies identificadas como prioritarias para la conservación. El Comité está formado por subcomités para cada una de las especies y su función principal es dar asesoría a la Semarnat en las actividades relacionadas con la recuperación de las espe-

cies prioritarias, así como elaborar los Programas de Acción para la Conservación de Especies (PACE). Actualmente, por medio del Programa de Conservación de Especies en Riesgo (Procer) de la Conanp-Semarnat, el objetivo general es lograr la recuperación de 25 especies prioritarias en riesgo en el periodo 2007-2012, para lo cual existen 25 Subcomités Técnicos, 21 de los cuales trabajan con especies de fauna silvestre (R. Wolf, com. pers.). En el Subcomité Técnico Consultivo para la Recuperación del Lobo Gris Mexicano (*Canis lupus baileyi*) participan representantes de al menos nueve zoológicos de México que mantienen esta especie como parte de su colección (INE 2006). La participación de personal de los zoológicos en los planes de recuperación de especies también se da en otros casos en los que las instituciones mantienen especies prioritarias en sus instalaciones.

Investigación

Como se mencionó, la investigación es uno de los objetivos primordiales de los zoológicos. A partir de datos obtenidos de 1998 a 2000 (Gual-Sill y Garza 2001), en México se registraron 106 reuniones científicas relacionadas con la fauna silvestre. De los trabajos presentados, 57% provienen de zoológicos, 24% de universidades, 11% de acuarios y 8% de criaderos. Aunque muchas investigaciones se llevan a cabo en zoológicos, esto no se publica y por tanto su efecto en la conservación de las especies estudiadas es limitado; estas instituciones constituyen la principal fuente de trabajos en los foros científicos relacionados (Fig. 12.1).

En todo México, solamente cinco zoológicos se encuentran registrados ante la Dirección General de Vida Silvestre (DGVs) de la Semarnat con proyectos científicos de investigación con poblaciones silvestres: Africam Safari, Zoológico de Guadalajara, Parque Zoológico de San Luis Potosí (con una especie cada uno), Dirección General de Zoológicos de la Ciudad de México (dos especies) y Zoomat (siete especies) (Sánchez Camacho, com. pers.). Esto no quiere decir que los zoológicos no realicen investigación, sino que los estudios se desarrollan principalmente con las poblaciones en cautiverio.

Proyectos de conservación de las colecciones pertenecientes a la AZCARM

Los miembros de la AZCARM desarrollan algunos proyectos de conservación *in situ*, aunque la mayor parte de los proyectos registrados son *ex situ*; se considera que

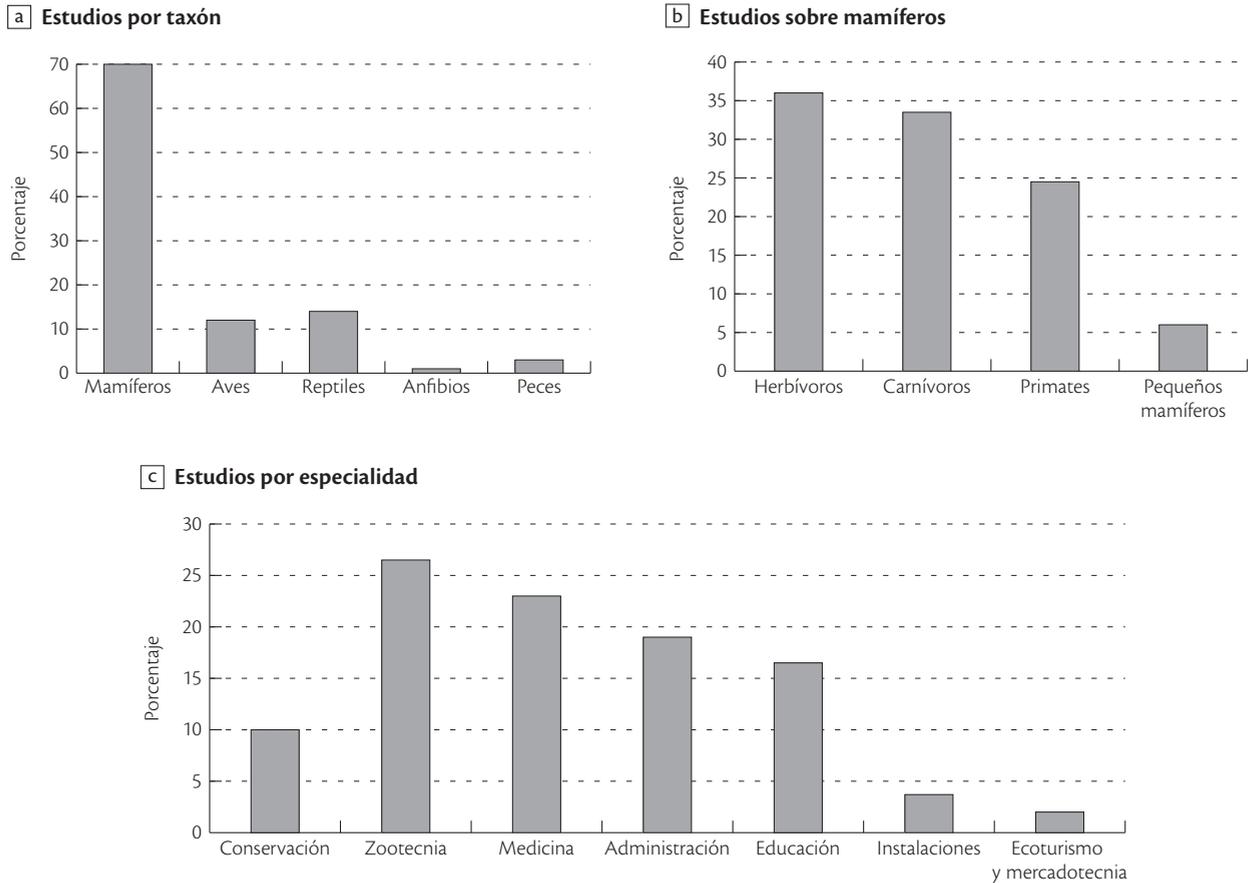


Figura 12.1 Porcentaje de trabajos por tema presentados en 106 reuniones científicas en las que participaron zoológicos entre 1998 y 2000.

ambas estrategias son complementarias. En un análisis acerca de los proyectos de conservación de especies silvestres realizados por algunos miembros de la AZCARM (Sigler 2001), de las 29 instituciones que participaron se describieron 37 proyectos que favorecen la conservación de por lo menos 50 especies silvestres, dos proyectos más se concentran en la conservación de ecosistemas (arrecifes), un proyecto de educación y uno más de comercialización. Los miembros de AZCARM que más proyectos de conservación reportaron fueron: Africam Safari con siete; la Dirección General de Zoológicos de la Ciudad de México (DGZCM), Xcaret, el criadero Servicios Bre y el Zoológico de León con cuatro cada uno; el Acuario de Veracruz y el Zoológico de Morelia con tres cada uno; el Zoomat y el Acuario de Mazatlán con dos cada uno, y el Zoológico de Guadalajara, el criadero de cocodrilos CUC-Cipactli, el Zoológico de Culiacán y Yumká (Centro de Interpretación y Convivencia con la Naturaleza), con un proyecto registrado por institución.

Estos proyectos promovían la conservación de 12 especies de mamíferos, más de nueve especies de aves, ocho de reptiles, una de anfibios y una de peces. Las especies más representadas en estos proyectos de conservación son: guacamaya verde (3), lobo mexicano (3), tortugas marinas (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Dermochelys coriacea*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys kempfi*, *L. olivacea*, 3), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*, 2), ocelote (*Leopardus pardalis*, 2) y cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*, 2).

Entre las especies mexicanas en peligro de extinción atendidas solo por un miembro de la AZCARM destacaron las siguientes: jaguar, tapir (*Tapirus biardii*), borrego cimarrón, águila real, cotorra serrana (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*), loro cabeza amarilla (*Amazona oratrix*), guacamaya roja (*Ara macao*), flamenco del Caribe (*Phoenicopterus ruber*), guajolote norteño o silvestre (*Meleagris gallopavo*), ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) y achoque de Pátzcuaro (*Ambystoma dumerili*).

Solo uno de los proyectos registrados incluyó una especie exótica: el panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*); el resto de los proyectos se relacionaban con especies mexicanas, por lo que se aprecia el gran interés en la conservación de especies del país. Al menos dos proyectos son multiinstitucionales: el de Patologías de Felinos Silvestres Mexicanos y el del Lobo Mexicano, este último de alcance binacional. Dieciocho de los proyectos de conservación analizados se llevan a cabo *ex situ*, 10 proyectos son *in situ* y nueve más se realizan de manera conjunta en cautiverio y en vida libre.

En un estudio de los proyectos de conservación *in situ* desarrollados en zoológicos de Latinoamérica y el Caribe (Matamoros-Hidalgo 2004), los proyectos registrados de México incluyeron solamente cuatro instituciones (todas ellas miembros de la AZCARM): el Zoológico Miguel Álvarez del Toro (Zoomat) con cinco proyectos que incluyen especies como cocodrilos, tortugas de agua dulce, tapir, ocelote y psitácidos, además de dos proyectos acerca del manejo de reservas de la biosfera y estudios del efecto de la fragmentación del hábitat en las aves; la Dirección General de Zoológicos de la Ciudad de México registró seis proyectos que incluyen las especies lobo mexicano, zacatuche (*Romerolagus diazi*), borrego cimarrón, ocelote, ajolote de Xochimilco y panda gigante; el Jaguar Zoo registró un solo proyecto relacionado con el jaguar; mientras que el Parque Xcaret registró cuatro proyectos relacionados con el flamenco del Caribe, el manatí, la flora para mariposas y dos especies de tortugas marinas (*Caretta caretta* y *Chelonia mydas*).

La infraestructura de los zoológicos

Los exhibidores constituyen la mejor herramienta de los zoológicos para comunicar a los visitantes el mensaje de la importancia de los animales silvestres (Coe 1996). En México algunos han comenzado a transformarse en zoológicos modernos o centros de conservación. En este proceso se han llevado a cabo remodelaciones totales o parciales de varias colecciones vivas abiertas al público, incluyendo el Zoológico de Chapultepec entre 1992 y 1994 (Gual-Sill y Garza 2001), el de San Juan de Aragón, el de Tamatán, Africam Safari, los zoológicos de Guadalajara, Morelia, Xcaret, Zoomat, el de León, el Museo del Desierto de Saltillo, el Parque Museo La Venta, Yumká, Bioparque Estrella, el Zoológico de Zacango, el de Neza, Zoofari y El Centenario, todos los cuales cuentan con la infraestructura necesaria para llevar a cabo sus funciones de forma adecuada. La modernización de las instalacio-

nes e infraestructura es necesaria para cumplir cabalmente con los objetivos de los zoológicos contemporáneos.

Plan estratégico de colección y registros

En el aspecto del manejo de poblaciones de las diferentes especies silvestres en cautiverio en los zoológicos de México, la AZCARM trabaja en la integración de un Plan Estratégico de Colección Común para todos los zoológicos, y aunque todavía está en proceso, muchos zoológicos ya trabajan con los datos y métodos desarrollados hasta ahora. La AZCARM también ha promovido la capacitación de sus miembros en la utilización del International Species Information System (ISIS), el cual constituye un sistema de cooperación global para el manejo de colecciones vivas que integra información sobre 7 500 especies de animales mantenidas en 550 zoológicos de 54 países. Actualmente solo el Zoológico de Guadalajara, el Zoológico de León y Africam Safari utilizan este sistema. Asimismo, un miembro de la asociación colabora en la creación del nuevo programa que sustituirá al Animal Record Keeping System (ARKS) y que lleva por nombre Zoological Information Management System (ZIMS), el cual es una base de datos en la red global que incluye información de salud y bienestar animal, registros, movimientos y manejo de individuos que, con datos compartidos sobre dos millones de animales, proveerá información poblacional completa, así como las prácticas adecuadas y aceptadas por la comunidad de colecciones animales. Aunque no todos los zoológicos en México tienen acceso a estos programas, todos envían un informe semestral o anual a la DGVS de la Semarnat, además de reportar sus altas y bajas, por lo que esta dependencia cuenta con esta valiosa información.

Algunos zoológicos de México colaboran con el registro de *studbooks* o pedigrees de diversas especies. Aunque los datos no están completos, estos muestran que los que participan en el mayor número de *studbooks* son: Africam Safari, Zoológico de Guadalajara, Zoomat, Zoológico Internacional, Dirección General de Zoológicos de la Ciudad de México y Zoológico de León. En estas instituciones se colabora en al menos 33 *studbooks* de mamíferos de los cuales cinco especies son nativas de México: pecarí de labios blancos (*Tayassu tajacu*), pecarí de collar (*Tayassu pecari*), tapir, mono araña (*Ateles geoffroyi*) y lobo mexicano; 10 especies de aves de las cuales siete son nativas de México: pavón (*Oreophasis derbianus*), guacamaya roja, guacamaya verde, cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terrisi*), cotorra serrana

occidental, tecolote llanero (*Athene cunicularia*) y queztral (*Pharomachrus moccino moccino*). Solamente se obtuvo información de un *studbook* en reptiles de México, el cual corresponde al monstruo de Gila (*Heloderma suspectum*).

Participación en talleres de conservación, análisis y manejo planificado de especies silvestres

Un proceso para el desarrollo de estrategias para la conservación de especies en riesgo, muy común en la actualidad, es la realización de análisis de viabilidad de poblaciones y hábitat (PHVA), en los que los distintos actores que participan en el estudio y conservación de una especie y su hábitat contribuyen en la elaboración de acciones y en la asignación de responsabilidades. Los zoológicos han tenido una participación destacada en los diferentes talleres PHVA organizados por el Grupo de Especialistas en Reproducción para la Conservación (CBSG) de la IUCN (CBSG 2008).

Red de Monitoreo del Uso de Animales Silvestres Vivos (Remus)

Recientemente comenzó el proyecto de la Red de Monitoreo del Uso de Animales Silvestres Vivos en Latinoamérica (Remus) con el apoyo del Durrell Wildlife Conservation Trust, del Fondo Internacional para la Protección de los Animales y su Hábitat (IFAW) y la UNAM (Cuarón *et al.* 2005). La Red, en la que participan 10 de los principales zoológicos de México, podrá usar los registros de animales silvestres que los zoológicos reciben en donación, depósito y resguardo para el seguimiento del tráfico de la fauna silvestre (A. Cuarón, com. pers.), para dar a las instancias gubernamentales pertinentes información importante sobre el estado del tráfico de especies silvestres en México.

Estrategias de Colaboración para la Recuperación de Especies de la AZCARM

La AZCARM está preparando el programa de Estrategias de Colaboración para la Recuperación de Especies (ECRE), el cual consiste en realizar un plan cooperativo con diversos zoológicos mexicanos y del extranjero para fomentar el intercambio de información de individuos de especies seleccionadas para lograr su conservación a largo plazo, mediante el monitoreo y manejo de la diversidad genética y estructura demográfica de las especies

seleccionadas como una sola población. Como parte del programa, la AZCARM está recopilando información de todos los individuos que se encuentren en cautiverio en México de las especies seleccionadas, con la cual se integrará el libro de pedigrís de cada especie y se creará un manual de manejo en cautiverio de cada una de ellas. La AZCARM elaborará un plan de manejo nacional *ex situ* de cada especie. En la actualidad se encuentra en proceso la integración de los registros de ejemplares de tres especies incluidas en la ECRE. De acuerdo con datos de la DGVS, hasta ahora se tienen registrados 50 zoológicos, 20 criaderos intensivos, 39 circos y cuatro espectáculos ambulantes que cuentan con *Ateles geoffroyi* en su inventario; 23 zoológicos, 32 criaderos intensivos, nueve espectáculos ambulantes y ocho espectáculos fijos que tienen *Ara macao* en sus inventarios, y solamente dos zoológicos que cuentan con *Tapirus bairdii* en su colección.

Colecciones vivas en la conservación *ex situ* de peces dulceacuícolas

El número de peces considerados en alguna categoría de riesgo se incrementó de 137 (Semarnap 1994) a 169 (Semarnat 2002) en ocho años, a lo que se suman otras 20 especies consideradas en peligro por especialistas (Ceballos *et al.* en prensa). Adicionalmente, se han documentado 24 extinciones en los últimos 75 años (Contreras-MacBeath 2002). Esto significa que 43% de las aproximadamente 450 especies que habitan las aguas dulces del país han sido afectadas (Espinosa-Pérez *et al.* 1993). En este panorama, la conservación *ex situ* y la biotecnología son herramientas fundamentales ante la amenaza de extinción, cuando las poblaciones se ven disminuidas o cuando es inseguro el cuidado *in situ*. Su principal valor se basa en su potencial para recobrar el funcionamiento ecológico y biológico perdido y en propiciar el incremento de las poblaciones (Conway 1989).

En el Cinvestav-IPN-Unidad Mérida, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, la Universidad Autónoma del Estado de México, la Universidad Autónoma de Nuevo León y en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN se han implementado colecciones vivas, manteniendo lotes de peces en condiciones que permiten su sobrevivencia y reproducción. Ante el deterioro ecológico de muchos sistemas dulceacuícolas y el aumento paulatino de especies en riesgo, los objetivos de estas colecciones se han redirigido a la conservación *ex situ* y algunas han

alcanzado cierto desarrollo biotecnológico, que ahora les permite la propagación de ejemplares a otras universidades y el intercambio de reproductores con instituciones nacionales y del extranjero.

Los primeros cultivos *ex situ* fueron desarrollados por distintas instituciones para peces nativos de interés económico, como es el caso del catán (*Atractosteus tropicus*), de la mojarra del sureste (*Cichlasoma urophthalmus*), de la acúmara (*Algansea lacustris*) y del pez blanco (*Chirostoma estor*). Han sido las universidades públicas las que han asumido la responsabilidad de preservar los peces nativos que se hallan en situación de riesgo, que no necesariamente son de interés económico. Así, en diferentes tiempos, en la universidades mencionadas se han mantenido cultivos de representantes de nueve familias de la ictiofauna nacional: *Lampetra geminis*, *Notropis boucardi*, *Ictalurus balsanus*, *Chirostoma estor*, *C. promelas*, *C. riojai*, *Cyprinodon alvarezii*, *C. longidorsalis*, *C. nazas*, *C. pachycephalus*, *C. veronicae*, *Fundulus lima*, *Megapsilon aporus*, *Allotoca diazi*, *A. dugesi*, *A. maculata*, *Ameca splendens*, *Ataeniobius toweri*, *Characodon audax*, *C. lateralis*, *Girardinichthys multiradiatus*, *G. viviparus*, *Hubbsina turneri*, *Ilyodon whitei*, *Skiffia bilineata*, *S. francesae*, *S. lermæ*, *Xenoporphus captivus*, *Zoogonecticus quitzeoensis*, *Zoogonecticus tequila*, *Gambusia longispinis*, *Poecilia latipunctata*, *Poeciliopsis balsas*, *Xiphophorus couchianus*, *Etheostoma grahmi* y *Cichlasoma istlanum*. La finalidad de las colecciones es la conservación mediante el establecimiento de cadenas de reproductores. En el caso de *C. estor* y *C. promelas* (especies en riesgo), además se ha logrado la obtención masiva de juveniles, la transferencia tecnológica a las comunidades rurales y se está en proceso de elaborar la propuesta metodológica para el cultivo comercial de estas especies.

Las colecciones de especies en riesgo en general son pequeñas, algunas de ellas con más de cinco especies cultivadas. Las excepciones son la de la Universidad Autónoma de Nuevo León que llegó a tener ejemplares de más de 40 especies, tanto en peceras como en estanques, y la de la Universidad Michoacana, que es la única que actualmente mantiene en operación una planta de reproductores de *Chirostoma estor* y *C. promelas*, así como líneas de investigación básica sobre el conocimiento biológico de peces goodeídos. Entre ambas colecciones deben estar representadas aproximadamente 50 especies (datos no publicados).

La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo ha desempeñado una labor destacada en la conservación *ex situ*, no solo por el número de especies que man-

tiene, sino también por que ha centrado su interés en los integrantes de la familia Goodeidae, un grupo representativo del centro de México, con casi 50% de sus integrantes en alguna de situación de riesgo. Entre ellos mantiene lotes de reproductores de *Skiffia francesae* y *Zoogonecticus tequila*, especies extintas en el medio natural. La Universidad Michoacana mantiene un intercambio activo con otras instituciones nacionales y extranjeras. De la misma manera, es la que muestra el mayor avance biotecnológico en la recuperación de una especie de importancia cultural, social y económica: el pez blanco *Chirostoma estor* (recuadro 12.5). La Universidad Autónoma de Nuevo León trabaja en las zonas áridas del norte de México, manteniendo ejemplares de la familia Cyprinodontidae, en particular de especies del género *Cyprinodon*, la mayoría de las cuales están listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002).

En menor proporción, la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (donde también se mantienen ejemplares de *Skiffia francesae*) y la Universidad Autónoma del Estado de México mantienen especies en riesgo, sobre todo las que corresponden a las cuencas del Valle de México, Lerma y Balsas.

Con una concepción distinta, las comunidades de la Selva Lacandona han implementado acuicultivos, con fines de consumo, cuyo diseño busca reproducir la estructura y función de los sistemas acuáticos locales, ya sea mediante la imitación directa en cuerpos de agua artificiales, logrando una analogía estructural con los sistemas naturales, o con un manejo adaptativo de las técnicas acua-culturales. De esta manera han establecido policultivos con las especies regionales, sobre todo con las mojarra de la familia Cichlidae, entre ellas *Cichlasoma intermedium*, una especie amenazada (Rodiles-Hernández 2001).

Aun cuando su objetivo es la propagación de especies de interés económico propias del Lago de Chapala, el Centro Acuícola de Tizapán El Alto, en Jalisco, mantiene cultivos de *Chirostoma promelas* e *Ictalurus dugesi* (Villacaña Vázquez y Morales Ventura 2003), ambas consideradas amenazadas. Esta es la única entidad gubernamental que, aunque sea de manera indirecta, participa en la conservación *ex situ*. Los acuaristas nacionales también intervienen en la reproducción *ex situ* de peces de talla pequeña, sobre todo de representantes de las familias Characidae, Goodeidae y Poeciliidae, como es el caso de *Astyanax jordani*, *Girardinichthys* spp., *Poecilia butleri* y *P. velifera*; aunque también muchos acuaristas basan su

RECUADRO 12.5 CULTIVO DE *CHIROSTOMA ESTOR ESTOR*, UN PEZ DE IMPORTANCIA TRADICIONAL Y ECONÓMICA EN RIESGO

Antonio Campos Mendoza • Carlos Antonio Martínez Palacios • Lindsay G. Ross

El pez blanco del Lago de Pátzcuaro (*Chirostoma estor estor*) es una de las especies más representativas de la cultura purépecha y del estado de Michoacán, por su gran importancia histórica, ecológica y económica. El pez blanco y el charal (*Chirostoma* spp.) han sido desde tiempos prehispánicos la base de la pesquería artesanal de este lago. Sin embargo, a mediados de la década de 1980 se registró por primera vez una reducción en la captura del pez blanco, principalmente por la degradación ambiental del lago, la explotación irracional y la introducción de especies exóticas. Esta disminución se incrementó de manera considerable en la siguiente década; así, el registro de capturas de 1996 fue de seis toneladas y para el año 2000 fue solo de una tonelada (Mares-Báez y Morales-Palacios 2003).

Pese a todos los esfuerzos de recuperación ambiental de la cuenca, que incluyeron programas de los gobiernos federal y estatal, así como el aporte de varias organizaciones civiles, a la fecha no se han obtenido resultados favorables para la rehabilitación del lago (García-Villanueva 2004). Para recuperar las poblaciones naturales del pez blanco, algunos sectores gubernamentales iniciaron programas que incluyeron la creación de reservas para la producción de especies nativas. Después de once años de operación de las reservas, los resultados son insuficientes y las poblaciones de pez blanco continúan en declive. Otra medida impulsada por el gobierno federal fue la implementación de una veda en el año 1999, con la cual se pretendía evitar la extracción de pez blanco y propiciar su incremento natural. Con la veda establecida, se tomaron algunas medidas de regularización de las artes de pesca, las cuales en su mayoría son no selectivas (García-Villanueva 2004). La aplicación de la veda junto con la falta de un programa alternativo de ingresos incrementaron los problemas sociales y la marginación de los pescadores de la región, cuya única fuente de ingresos es la pesca, razón por la cual muchos de ellos se vieron obligados a emigrar.

En los últimos años se ha empleado otra estrategia de conservación del pez blanco: la aplicación de la acuicultura mediante cultivos semiintensivos e intensivos que conduzcan a la recuperación de las poblaciones naturales del lago, siempre y cuando las condiciones ambientales del sistema lo permitan, y también que propicien un cambio en la actividad productiva de los pescadores, convirtiéndolos paulatinamente en acuicultores.

Para el desarrollo de tal actividad, la Universidad

Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en estrecha relación con el Instituto de Acuicultura de la Universidad de Stirling, en Escocia, y muchas otras instituciones nacionales implementaron un programa de investigación básica y aplicada, que comenzó en 1998 y ha generado las bases tecnológicas para desarrollar el cultivo de esta especie (Martínez-Palacios *et al.* 2003). Gracias a esto ya se conoce la temperatura óptima para el desarrollo de larvas y juveniles (Martínez-Palacios *et al.* 2002) y se ha establecido el intervalo de tolerancia a salinidades, lo que permite controlar mejor las enfermedades causadas por hongos y bacterias (Martínez-Palacios *et al.* 2004). Otros estudios han demostrado que el pez blanco cuenta con altos niveles (20 a 32 por ciento de los ácidos grasos totales) de ácido decosahexanoico (ADH), indicativo de que tienen la capacidad de sintetizar ADH a partir de ácido eicosapentenoico y otros ácidos omega 3, lo que le da el carácter de una especie rica en ácidos grasos altamente benéficos para el ser humano (Martínez-Palacios *et al.* 2006).

Adicionalmente, mediante la manipulación ambiental y el control del fotoperiodo en los reproductores, se ha controlado en su totalidad el ciclo reproductivo, por lo que ahora se obtienen larvas y juveniles de pez blanco en cualquier época del año (Campos-Mendoza *et al.* 2004). Estos avances han hecho posible la creación de la primera planta de producción de crías de pez blanco, cuyo objetivo fundamental es la producción de 200 000 crías anuales y cubrir el requerimiento estimado para establecer el cultivo, involucrando a las comunidades ribereñas del Lago de Pátzcuaro. Actualmente se cuenta con una unidad experimental de cultivo en la comunidad de Ichupio, municipio de Tzitzuntzan, donde se evalúa el crecimiento de los peces blancos en condiciones de cultivo, así como la dinámica poblacional del zooplancton de los estanques.

Para establecer el cultivo en forma definitiva, se trabaja con un proyecto de transferencia tecnológica, financiado por la Iniciativa Darwin del gobierno británico, que permitirá llegar hasta las comunidades y ofrecer cursos de capacitación y entrenamiento en el cultivo del pez blanco (Ross *et al.* 2006). No obstante los logros obtenidos, la limitante principal es la falta de recursos económicos para la construcción de la estanquería rústica necesaria para el proyecto, sin embargo, se labora de manera conjunta con las comunidades para obtener recursos de los gobiernos federal y estatal para lograr impulsar

RECUADRO 12.5 [concluye]

el cultivo del pez blanco entre las comunidades ribereñas del Lago de Pátzcuaro.

La fase siguiente será integrar el cultivo del pez blanco como una actividad rentable, que permita reducir sus altos costos en el mercado y evitar que se siga extrayendo el recurso del medio natural, lo que repercutirá en el incremento de las poblaciones del lago. Así, este programa ha brindado la oportunidad de utilizar a la acuicultura como una herramienta de conservación, no solo del pez blanco, sino de las otras especies de *Chirostoma* que habitan en el Lago de Pátzcuaro.

Las mismas técnicas se están aplicando para intentar rescatar una de las especies de pez blanco de Chapala (*Chirostoma promelas*), conocido como “bocanegra”, que en la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002) aparece en la categoría de amenazada. Consideramos que los esfuerzos realizados hasta ahora para conservar al pez blanco han sido oportunos y los resultados exitosos, pero se requiere más investigación para lograr entender en su totalidad algunos aspectos de la fisiología y cultivo de esta especie.

actividad en métodos extractivos, que aumentan el riesgo para algunos peces.

En diversos países se cultivan peces mexicanos con diferentes fines. Tal vez la mejor colección viva en el extranjero sea la del Zoológico de Chester, en Inglaterra, que con fines de reproducción y propagación mantiene grandes lotes de especies de las familias vivíparas Goodeidae y Poeciliidae, y es esta la institución que mantiene un intercambio activo con universidades mexicanas y de donde proceden los ejemplares de taxa extintos en la naturaleza, que se hallan en las colecciones nacionales.

Con fines científicos y como parte de programas de repoblación, en el Dexter National Fish Hatchery and Center of Technology, de Nuevo México, se hallan ejemplares de *Gila elegans*, *G. purpurea*, *Xyrauchen texanus* e *Ictalurus pricei*. Con los mismos objetivos, la Universidad de Nuevo México mantiene cinco especies de *Cyprinodon* (*C. beltrani*, *C. labiosus*, *C. maya*, *C. simus* y *C. verucundus*). El Acuario de Dallas, Texas, exhibe especímenes de *Megupsilon aporus*. Para estudios relacionados con el cáncer de la piel o melanoma humano, el Xiphophorus Genetic Stock Center, de la Southwest Texas State University reproduce 21 especies de peces espada del género *Xiphophorus*, la mayoría de origen mexicano. Los acuaristas extranjeros, sobre todo europeos, mantienen lotes de especies de goodeídos y pecílidos, así como de mojarras *Cichlasoma grammodes* y *C. hartwegi*.

La conservación *ex situ* de peces en México tiene una historia que data de aproximadamente 40 años, si bien es en los últimos 15 cuando ha alcanzado su máximo desarrollo; sin embargo, las perspectivas no son halagüeñas. El principal problema de tipo biológico de las colecciones vivas es la pérdida de variabilidad genética de sus

especies, situación que hasta ahora se ha solucionado mediante un limitado intercambio de reproductores e introduciendo ejemplares silvestres en los cultivos.

Hasta ahora el sector gubernamental no ha manifestado interés en esta estrategia de conservación, ya que no solo se carece de programas de apoyo, sino que se tiene planeado transformar el único centro acuícola que cultiva especies en riesgo, el Centro Acuícola de Tizapán El Alto, Jalisco, en un centro productor de las exóticas tilapias. De la misma manera, ninguna colección está incorporada a algún programa institucional formal, sea universitario o procedente de los gobiernos federal, estatal o municipal; la mayoría de ellas se mantiene por el esfuerzo e interés de los investigadores o mediante aportes económicos de instituciones extranjeras. Con la excepción del pez blanco de Pátzcuaro (recuadro 12.5), poco se ha hecho por difundir los resultados y experiencias obtenidos, que además de su valor científico, son indispensables para el desarrollo biotecnológico y su transferencia a otros sectores de la sociedad. También es necesario incorporar la conservación *ex situ* a programas de educación ambiental que contribuyan a entender y reconocer el valor e importancia de las colecciones vivas.

12.4 CONSERVACIÓN *EX SITU* DE OTROS ORGANISMOS

La conservación *ex situ* se centra principalmente en especies de flora y fauna, sin embargo existen algunos grupos como los hongos, levaduras y bacterias, entre otros, que también se mantienen *ex situ*. No obstante, normalmente estos organismos se conservan por su utilidad

Cuadro 12.5 Otros centros de conservación *ex situ*

Colección <i>ex situ</i>	Institución	Localización
Levaduras marinas de México	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.	La Paz, BCS
Microalgas	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.	La Paz, BCS
Cianobacterias	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.	La Paz, BCS
Microorganismos de importancia acuática	Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo, A.C., Unidad Mazatlán	Mazatlán, Sin.
Dinoflagelados marinos	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.	La Paz, BCS
Cepario de hongos comestibles y medicinales	El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula	Tapachula, Chis.
Cepario de hongos	Colegio de Postgraduados de Chapingo	Puebla, Pue.
Cepario de hongos	Instituto de Ecología, A.C.	Xalapa, Ver.
Cepario de hongos patógenos	Laboratorio de Micología, Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM	Distrito Federal
Cepario <i>Histoplasma capsulatum</i>	Laboratorio de Inmunología de Hongos, Departamento de Microbiología y Parasitología, Facultad de Medicina, UNAM	Distrito Federal
Cepario	Facultad de Química, UNAM	Distrito Federal
Microhongos	Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias	Distrito Federal
Cultivos	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN	Distrito Federal
Cepas microbianas y cultivos celulares	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN	Distrito Federal
Hongos patógenos y Actinomycetes	Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica, Secretaría de Salud	Distrito Federal
Amoebae	Asociación Mexicana de Investigadores de la Contaminación Ambiental, A.C.	Distrito Federal
Centro Nacional de Cultivos Microbianos	Centro Nacional de Cultivos Microbianos, Cenacumi	Distrito Federal

Fuentes: Carnevali Fernández-Concha *et al.* (2004); Federación Mundial de Colecciones de Cultivos.

ecológica, económica, de salud pública, control biológico o por su valor farmacéutico o alimentario, más que como esfuerzos de conservación de la biodiversidad para reducir el riesgo de extinción de estas especies, por lo que no se abunda en la conservación *ex situ* de estos organismos. La Federación Mundial de Colecciones de Cultivos (WFCC) registra para México algunas colecciones de microorganismos (cuadro 12.5).

12.5 LAS COLECCIONES EX SITU COMO HERRAMIENTAS DE EDUCACIÓN

El carácter educativo de los centros de conservación *ex situ* está implícito, no solo en los aspectos de difusión y sensibilización, sino que en muchos casos son elementos centrales en la formación de recursos humanos en los niveles medio y superior porque son lugares idóneos para

prácticas de campo de estudiantes de ciencias forestales, agronómicas y biológicas.

Los zoológicos, los jardines botánicos y los acuarios son sitios de contacto con la naturaleza para la mayor parte de los habitantes de las ciudades, por lo que se deben considerar centros de educación ambiental cuya tarea central es “sensibilizar” a los visitantes. Es precisamente por medio de estos centros que la educación puede lograr su mayor contribución a la conservación de la biodiversidad (Barraza 1994).

Los 20 zoológicos principales de México cuentan con áreas educativas y personal dedicado a esta especialidad. Se calcula que en toda la República mexicana los zoológicos reciben alrededor de 20 millones de visitantes al año (Collados 1997); los más frecuentados son Chapultepec, San Juan de Aragón y Los Coyotes, con un promedio anual de 8.6 millones de visitantes. Por su parte, la Estrategia de Conservación para los Jardines Botánicos Mexi-

canos 2000 (Rodríguez-Acosta 2000) señala que la actividad principal de los jardines botánicos del país es la educación ambiental y el esparcimiento. Se calcula que reciben un promedio anual de 200 000 visitantes.

El alto número de visitantes de los centros *ex situ* del país representa una oportunidad única para desarrollar programas de educación formal e informal en los niveles básico, medio y superior. En el año 2000, de 42 zoológicos registrados de un total aproximado de 65, incluyendo criaderos y colecciones privadas, 12 reportaron algún tipo de actividades educativas. De estos, solo siete tenían programas permanentes de educación (10%). Sin embargo, 16.6% de los zoológicos mexicanos registrados considera la educación como una de sus funciones principales (M. Martínez, com. pers.).

La investigación educativa en los zoológicos es uno de los mayores retos que estos enfrentan. La función educativa de los zoológicos crece a medida que se prueban nuevos métodos de colaboración y de comunicación con el público. Por ello, conocer y analizar las percepciones, actitudes y conocimientos ambientales que los visitantes manifiestan en un zoológico es fundamental para el diseño y evaluación de sus programas educativos. Sin embargo, el desarrollo de la investigación educativa en estos sitios es aún muy incipiente; por ejemplo, son muy pocos los zoológicos mexicanos (alrededor de 5%) que cuentan con programas de evaluación continua sobre el efecto que tienen los programas educativos en el público visitante, lo que se manifiesta en aspectos como el escaso conocimiento que tiene la población mexicana en general sobre la fauna del país (Ramírez-Lemus 2003).

Es necesario que en los sitios donde se mantienen colecciones se busquen formas creativas de presentar información sobre diversos temas relacionados con la vida animal, la vegetal y la conservación, así como la interacción con público diverso y heterogéneo, utilizando la investigación como herramienta de evaluación. Además es importante crear espacios de discusión sobre las oportunidades para asimilar y aplicar conceptos. El aprendizaje es un proceso cognoscitivo y dinámico, influido por la curiosidad, el interés y la motivación. El zoológico, el jardín botánico y otros son espacios que pueden propiciar un aprendizaje creativo. Para lograrlo, los programas y las actividades educativas deben estructurarse de acuerdo con un plan integral de desarrollo congruente con los objetivos, funciones y filosofía de la institución.

Con frecuencia, las actitudes que los individuos manifiestan hacia los animales responden a conductas aprendidas. Por ello, identificar actitudes de los visitantes pue-

de ayudar a orientar programas educativos, con el fin de reforzar comportamientos positivos hacia el ambiente o para modificar e idealmente eliminar comportamientos negativos (Barraza y Cuarón 2004). Al observar las interacciones que los visitantes establecen con los animales se puede obtener información sobre su desarrollo social, afectivo y cognoscitivo, y consecuentemente es posible predecir su desarrollo moral y fortalecer los programas de educación ambiental.

12.6 CONSIDERACIONES FINALES: HACIA UN INVENTARIO NACIONAL

A lo largo de este capítulo se ha destacado la importancia y la función actual de la conservación *ex situ* en México. Sin embargo, son evidentes las carencias en la sistematización y fuentes fidedignas de información, así como en la coordinación institucional de grupos civiles y académicos dedicados a la conservación *ex situ*. En general es notable la insuficiente vinculación entre la conservación *in situ* y la *ex situ*, siendo esta última una herramienta con enormes potencialidades, pero todavía subvalorada y con importantes rezagos.

Es trascendental crear una base de datos que integre un inventario nacional de ejemplares conservados *ex situ* (flora, fauna y microorganismos) que se actualice constantemente e incluya información sobre las capacidades de almacenaje, seguridad, documentación y caracterización. Esta base de datos deberá ser parte de una estrategia nacional para la conservación de especies que requieren recursos *ex situ*, y promover un diálogo entre instituciones de investigación, educación superior, sector privado y gobierno, con el fin de:

- Vincularla con las áreas naturales protegidas y con las regiones terrestres prioritarias, preferentemente uniendo esfuerzos entre los diferentes centros de conservación *ex situ*.
- Incrementar la representatividad de la flora y la fauna mexicanas para las que mantener poblaciones *ex situ* pueda reducir las posibilidades de extinción, particularmente para especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001 o consideradas en riesgo por otros organismos internacionales, así como parientes de cultivares (medicinales, entre otros).
- Fomentar la investigación multidisciplinaria y el desarrollo de programas integrales de manejo y conservación para las especies mantenidas *ex situ*.

- Identificar prioridades en las colecciones para la recuperación ecológica, así como en educación formal e informal, educación básica, media y superior, desarrollo sustentable e investigación científica.
- Potenciar y mejorar las instalaciones, servicios, capacitación del personal, presupuesto y mantenimiento.
- Instrumentar protocolos de manejo, germinación, cultivo y almacenaje (semillas, tejidos *in vitro*, ADN, etc.) en plantaciones, jardines botánicos, zoológicos, criaderos, bancos de microorganismos, entre otros.
- Definir políticas curatoriales de las colecciones nacionales *ex situ*: destino, propósito de los materiales o ejemplares, gestión genética, documentación, etcétera.
- Impulsar el desarrollo de la capacidad de conservación *ex situ* orientado a incrementar la cobertura regional, con el objetivo de mantener especies en su rango de distribución natural y contribuir a fortalecer las capacidades regionales.
- Atender las técnicas y directrices de la UICN, las estrategias nacionales e internacionales de toda instalación *ex situ* como instrumentos para la gestión y recuperación de poblaciones.
- Relacionar la conservación *ex situ* con ejes transversales como la interpretación y la educación ambientales, ofreciendo ejemplos de acciones relevantes para diferentes públicos.
- Desarrollar esquemas que incrementen la participación de la industria privada en la conservación, posiblemente mediante incentivos fiscales.

12.7 CONCLUSIONES

Son pocos los centros de reproducción *ex situ* en el universo de zoológicos, acuarios, criaderos y jardines botánicos, y en general es poco el efecto que estos han tenido en la conservación de la diversidad biológica de México; sin embargo, se verán más resultados en la medida en que las especies que están en programas de conservación sean reintroducidas a sus áreas originales y contribuyan a la restauración de los ecosistemas, y cuando los programas educativos se extiendan a todos los centros de reproducción abiertos al público y cuenten con programas dirigidos a generar un cambio de actitud en la población.

En relación con el objetivo mundial que marca la Estrategia Global para la Conservación Vegetal (2003) de tener 60% de las especies en peligro de extinción en cultivo *ex situ* y 10% en recuperación, la AMJB por medio de su Plan de Acción actualmente en revisión, se compro-

mete a tener 40% de las especies y 5% en programas de recuperación y restauración, tomando como referencia la NOM-059-SEMARNAT-2001 (Semarnat 2002). Por tanto, idealmente cada jardín botánico de México debería tener 20 especies en sus colecciones *ex situ* y una en recuperación y restauración. Es probable que los 51 jardines botánicos registrados en la AMJB requieran incrementar sus recursos y personal, además de que tienen la limitante de que no todos se localizan en las regiones donde son necesarios. Por ejemplo, de las 32 entidades federativas mexicanas, 10 no cuentan con jardines botánicos, no obstante que cuatro de ellos tienen instalaciones en desarrollo o se encuentran en etapa de planeación. Cabe destacar que solo 10% de las plantas contenidas en los jardines botánicos del país corresponde a especies exóticas.

En el caso de la fauna el panorama es muy distinto: especies en riesgo como el jaguar, el bisonte, el oso negro o el lobo mexicano, por citar solo unas cuantas de alrededor de 750 especies de vertebrados en riesgo de extinción (Ceballos y Eccardi 2003), necesitan grandes espacios, lo que hace poco factible mantener poblaciones viables en cautiverio en los zoológicos de México. En el caso de los vertebrados terrestres es necesario hacer una cuidadosa selección de especies para las que el desarrollo de programas de conservación *ex situ* sea económica y técnicamente viable, y a la vez contribuya de forma significativa a la conservación de la especie o su hábitat.

La revisión de las principales actividades de los centros de conservación *ex situ* en México indica que la educación es la herramienta más ampliamente utilizada, sobre todo en las colecciones en exhibición abiertas al público, aunque en el caso de los zoológicos solo una minoría tienen programas permanentes de educación ambiental.

En cuanto a las actividades de conservación, muchas se orientan a la reproducción y propagación de especies en riesgo, sin embargo, los resultados todavía son limitados ante las urgentes necesidades de recuperación. Los centros *ex situ* de fauna mantienen pocos registros, mientras que en los dedicados a la flora es una prioridad contar con una documentación adecuada para participar en programas de recuperación de especies.

Las colecciones vivas de flora, fauna y microorganismos son medios que facilitan la investigación científica, sin embargo, son pocos los trabajos de investigación publicados, por lo que hay escasa documentación que revele su aplicación y vinculación con la conservación *in situ*.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento por los valiosos comentarios de las siguientes personas: Teodolinda Balcázar, Orlik Gómez, Víctor Manuel Chávez, Martín Mata y Juan Carlos López, así como por las acertadas sugerencias de los revisores anónimos. También agradecemos a los coordinadores del libro su colaboración para consolidar el presente capítulo.

REFERENCIAS

- Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C. 1994. Importancia de las colecciones nacionales de los jardines botánicos de México. *Amaranto* 7:28-31.
- Barraza, L. 1994. *Los zoológicos en camino hacia la educación*. Secretaría de Educación Pública, México.
- Barraza, L., y A.D. Cuarón. 2004. How values in education affect children's environmental knowledge. *Journal of Biological Education* 39:18-23.
- BGCI. 2006. *North American Botanic Garden Strategy for Plant Conservation*. Botanic Garden Conservation International-American Public Garden Association-Canadian Botanical Conservation Network, Center for Plant Conservation-Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., Nueva York.
- Butler, D., y D. Merton. 1992. *The black robin. Saving the world's most endangered bird*. Oxford University Press, Oxford.
- Campos-Mendoza, A., J.C. Chávez-Sosa, V.O. Santoyo-Guzmán, C.A. Martínez-Palacios y L.G. Ross. 2004. *The effect of photoperiod on reproduction of pez blanco (Chiostoma estor estor) of Lake Pátzcuaro*. Jornadas del Pejerrey, IIB-INTECH, Chascomús, Argentina.
- Carnevali Fernández-Concha, G., V. Sosa, J.L. León de la Luz y J. León Cortés (eds.). 2004. *Colecciones biológicas. Centros de Investigación Conacyt*. Conacyt, México.
- Carvajal, L. 1993. Estudio biológico de una especie forestal endémica (*Magnolia dealbata* Zucc.). Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey.
- CBSG. 2008. *Conservation Breeding Specialist Group*, en <<http://www.cbsg.org/cbsg/networks>> (consultado en mayo de 2008).
- CDB. 2003. *Estrategia global para la conservación vegetal*. Convenio sobre la Diversidad Biológica, Botanic Gardens Conservation International, Londres.
- Ceballos, G., C. Arizmendi y L. Márquez. 2000. La diversidad y conservación de las aves de México, en G. Ceballos y L. Márquez (eds.), *Las aves de México en peligro de extinción*. CONABIO-UNAM-Fondo de Cultura Económica, México, pp. 21-68.
- Ceballos, G., y F. Eccardi. 2003. *Animales de México en peligro de extinción*. Fundación Alejo Peralta, México.
- Ceballos, G., y G. Oliva (eds.). 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. CONABIO-Fondo de Cultura Económica, México.
- Ceballos, G., E. Díaz-Pardo y H. Espinosa-Pérez. En prensa. *Peces mexicanos de agua dulce en peligro de extinción*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 2008. *Centro de Recursos Fitogenéticos Willhausen-Anderson*, en <http://www.cimmyt.org/spanish/wps/obtain_seed/pgrc.htm> (consultado en abril de 2008).
- Coe, J. 1996. What is the message? Education through exhibit design, en D.G. Kleiman, M.E. Allen, K.V. Thomson y S. Lumpkin (eds.), *Wild mammals in captivity. Principles and techniques*. The University of Chicago Press, Chicago, pp. 167-174.
- Collados, G. 1997. El rol de los zoológicos contemporáneos. Tesis de licenciatura, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Paisaje, Universidad Central de Chile, Santiago.
- CONABIO, Conanp y Semarnat. 2008. *Estrategia mexicana para la conservación vegetal: objetivos y metas*. México.
- Contreras-MacBeath, T. 2002. *Freshwater conservation in Mexico, with emphasis on viviparous species*. II International Symposium on Livebearing Fishes, Querétaro.
- Conway, W.G. 1989. Conservation: The next hundred years, en D. Western y M. Pearl (eds.), *Conservation for the twenty-first century*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 199-209.
- Coombes, A.J., S. Barreiro Zamorano y M. Rodríguez-Acosta. 2003. *Lista de plantas en los jardines botánicos de México*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., México.
- Cuarón, A., F. Galindo, A. Aguilar-Melo y E. Santurtún. 2005. REMUS: zoológicos, conservación y monitoreo de fauna silvestre en Latinoamérica. *Memorias del XXII Congreso AZCARM*. Asociación de Zoológicos, Criaderos y Acuarios de la República Mexicana, León.
- Cuarón, A.D. 2004. Fuera de lugar: sobre la conservación *ex situ*. *Especies* 13:18-23.
- Cuarón, A.D. 2005. Further role of zoos in conservation: Monitoring wildlife use and the dilemma of receiving donated and confiscated animals. *Zoo Biology* 24:115-124.
- Davis, D.S., y P.H. Elzer. 2002. Brucella vaccines in wildlife. *Veterinary Microbiology* 90:533-544.
- Durrell, G., y L. Durrell. 1996. Foreword, en D.G. Kleiman, M.E. Allen, K.V. Thomson y S. Lumpkin (eds.), *Wild mammals in captivity. Principles and techniques*. The University of Chicago Press, Chicago, pp. xiii-xiv.
- Espinosa-Pérez, H., M.T. Gaspar Dillanes y P. Fuentes Mata. 1993. *Listados faunísticos de México, III: Los peces dulceacuícolas mexicanos*. Instituto de Biología, UNAM, México.

- FAO. 1986. The Przewalski horse and restoration to its natural habitat in Mongolia. *FAO Animal Production and Health Papers* 61, Roma.
- Flores-Villela, O., y L. Canseco-Márquez. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana* 20: 115-144.
- García-Villanueva, N.H. 2004. *Memoria ilustrada del programa para la recuperación ambiental de la cuenca del lago de Pátzcuaro*. Fundación Gonzalo Río Arronte-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos.
- Gómez, O., y M. Lascuráin. 2006. La unidad de visitantes en un jardín botánico como espacio integrador, en M. Lascuráin, O. Gómez, O. Sánchez y C.C. Hernández (eds.), *Jardines botánicos, conceptos, operación y manejo*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., pp. 131-142.
- Gual-Sill, F., y J. Garza. 2001. Zoológico de Chapultepec "Alfonso L. Herrera", en E. Bell (ed.), *Encyclopedia of the world's zoos*. Fitzroy Dearborn Publishers, pp. 1433-1436.
- Guerrant, E.D., P.L. Fieldler, K. Havens y M. Maunder. 2004. Revised genetic sampling guidelines for conservation collections of rare and endangered plants, en E.O. Guerrant Jr., K. Havens y M. Maunder (eds.), *Ex situ plant conservation. Supporting species survival in the wild*. Society for Ecological Restoration, Center for Plant Conservation-Island Press, Washington, D.C., pp. 419-441.
- Hutchins, M., K. Willis y R.J. Wiese. 1995. Strategic collection planning: Theory and practice. *Zoo Biology* 14: 5-25.
- INE. 2006. Sistema de Publicaciones del Instituto Nacional de Ecología, en <<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/>> (consultado en abril de 2007).
- IUCN. 2002. *Technical guidelines on the management of ex situ populations for conservation*. Species Survival Commission, The World Conservation Union. Gland.
- IUCN. 2007. The IUCN red list of threatened species. *Equus ferus*, en <<http://www.iucnredlist.org/search/details.php/41763/all>> (consultado en abril de 2007).
- Kraaijeveld-Smit, F.J.L., R.A. Griffiths, R.D. Moore y T.J.C. Beebe. 2006. Captive breeding and the fitness of reintroduced species: A test of the responses to predators in a threatened amphibian. *Journal of Applied Ecology* 43: 360-365.
- Lascuráin, M., O. Sánchez, V. Luna y C. Iglesias. 2006. Adquisición, ingreso y manejo de material vegetal en un jardín botánico, en M. Lascuráin, O. Gómez, O. Sánchez y C.C. Hernández (eds.), *Jardines botánicos, conceptos, operación y manejo*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., pp. 121-127.
- List, R. 2005. *Canis lupus*, en G. Ceballos y G. Oliva (eds.), *Los mamíferos silvestres de México*. CONABIO, Fondo de Cultura Económica, México, pp. 350-353.
- Lockhart, M., J. Pacheco, R. List y G. Ceballos. 2003. Black-footed ferrets thrive in Mexico. *Endangered Species Bulletin* 28: 12-13.
- Mares-Báez, L.G., y J.J. Morales-Palacios. 2003. Contribución al estudio del cultivo del pescado blanco *Chirostoma estor estor* en el Centro Regional de Investigación Pesquera de Pátzcuaro, Michoacán, en P. Rojas Carrillo (ed.), *Historia y avances del cultivo de pescado blanco*. Sagarpa-INP, México, pp. 143-154.
- Martínez-Palacios, C.A., E. Barriga-Tovar, J.F. Taylor, G. Ríos-Durán y L.G. Ross. 2002. Effect of temperature on growth and survival of *Chirostoma estor estor*, Jordan 1879, monitored using a simple video technique for remote measurement of length and mass of larval and juvenile fishes. *Aquaculture* 209: 369-377.
- Martínez-Palacios, C.A., M.G. Ríos Durán, A. Campos-Mendoza, M. Toledo Cuevas, M.C. Aguilar Valdez *et al.* 2003. Desarrollo tecnológico alcanzado en el cultivo del pez blanco de Pátzcuaro, en P. Rojas Carrillo (ed.), *Historia y avances del cultivo de pescado blanco*. Sagarpa-INP, México, pp. 169-190.
- Martínez-Palacios, C.A., J. Comas-Morte, J.A. Tello-Ballinas, M. Toledo-Cuevas y L.G. Ross. 2004. The effects of saline environments on survival and growth of eggs and larvae of *Chirostoma estor estor* Jordan 1880 (Pisces: Atherinidae). *Aquaculture* 209: 369-377.
- Martínez-Palacios, C.A., L.G. Ross, I. Racotta-Dimitrov, M. Ríos Durán, E. Palacios Metchenov *et al.* 2006. Advances in applied research for the culture of Mexican silversides (*Chirostoma*, Atherinopsidae). *Biocell* 30: 137-148.
- Mata-Rosas, M., A. Jiménez-Rodríguez y V.M. Chávez-Ávila. 2006. Somatic embryogenesis and organogenesis in *Magnolia dealbata* Zucc. (Magnoliaceae), an endangered, endemic Mexican species. *HortScience* 41: 1325-1329.
- Matamoros-Hidalgo, Y. 2004. In situ conservation programmes of Latin American and Caribbean zoos, en Cooperation between zoos in in situ and ex situ conservation. *World Association of Zoos & Aquariums Magazine* 4: 8-11.
- Maunder, M., E.O. Guerrant Jr., K. Havens y K.W. Dixon. 2004. Realizing the full potential of ex situ contributions to global plant conservation, en E.O. Guerrant Jr., K. Havens y M. Maunder (eds.), *Ex situ plant conservation: Supporting species survival in the wild*. Society for Ecological Restoration International, Center for Plant Conservation-Island Press, Washington, D.C., pp. 389-418.
- McPhee, M.E., y E.D. Silverman. 2004. Generations in captivity increases behavioral variance: Considerations for captive breeding and reintroduction programs. *Biological Conservation* 18: 71-77.
- Norstog, K.J., y T.J. Nicholls. 1997. *The biology of the cycads*. Cornell University Press, Ithaca.
- Ortega-Larrocea, P., M.V. Chávez y R. Bye. 1997. Micropropagación y establecimiento *ex vitro* de *Cosmos atrosanguineus* (Hook.) A. Voss. en el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. *Amaranto* 10: 1-9.

- Raloff, J. 1995. Caste-off oranges: Controversy surrounds implications of a hybrid label. *Science News* **147**: 184.
- Ramírez-Lemus, M. 2003. ¿Qué es un zoológico?: percepciones y conocimientos de niños de 6° grado de primaria de la ciudad de Morelia, Michoacán. Tesis de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Rodiles-Hernández, R. 2001. Estudio de la comunidad de peces del río Lacanjá, Chiapas, México. Tesis de doctorado, UNAM, México.
- Rodríguez-Acosta, M. (ed.) 2000. *Estrategia de conservación para los jardines botánicos mexicanos, 2000*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., México.
- Ross, L.G., C.A. Martínez-Palacios, M.L. Rodríguez de Sousa y A. Campos-Mendoza. 2006. Darwin Initiative and the silverside fish *Chirostoma estor estor*: A link between aquaculture, biodiversity, and rural livelihoods. *Biocell* **30**: 119-120.
- Rubluo, A., V. Chávez, A.P. Martínez y O. Martínez-Vázquez. 1993. Strategies for the recovery of endangered orchids and cacti through in-vitro culture. *Biological Conservation* **63**: 163-169.
- Salcedo, C., y A. de Ávila. 2006. *La espina y el fruto*. Artes de México, México.
- Santos Barrera, G., y A. García Aguayo. 2006. Evaluación mundial de anfibios y reptiles y su conservación en México. *Biodiversitas* **65**: 12-15.
- Semarnap. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. *Diario Oficial de la Federación*, 16 de mayo de 1994.
- Semarnat. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2002.
- Semarnat. 2008. Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre, en <<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/vidasilvestre/Pages/umas.aspx>> (consultado en mayo de 2008).
- Sigler, L. 2001. La AZCARM y algunos de sus programas de conservación *ex situ* e *in situ* en México. Conferencia Magistral. Simposio sobre Fauna Silvestre, FMVZ, UNAM, XVIII Congreso de AZCARM y 3^{er} Encuentro de UMAS, 7 a 10 de noviembre, Toluca.
- Tudge, C. 1992. *Last animals at the zoo – How mass extinction can be stopped*. Island Press, Washington, D.C.
- Universidad Autónoma Chapingo. 2006. Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, en <<http://www.chapingo.mx/bagebage>> (consultado en octubre de 2006).
- Villicaña Vázquez, F., y J. Morales Ventura. 2003. Experiencias en el cultivo del pescado blanco *Chirostoma promelas* en el Centro Acuícola Tizapán el Alto, Jalisco, en P.M. Rojas Carrillo y D. Fuentes Castellanos (coords.), *Historia y avances del cultivo de pescado blanco*. Sagarpa-INP, México, pp. 221-235.
- Vovides, A.P. 2006. Aspectos curatoriales de un jardín botánico, en M. Lascaráin, O. Gómez, O. Sánchez y C.C. Hernández (eds.), *Jardines botánicos, conceptos, operación y manejo*. Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, A.C., pp. 105-110.
- Vovides, A.P., C. Iglesias, M. Pérez-Farrera, M. Vázquez-Torres y U. Schippmann. 2002. *Peasant nurseries: A concept for an Integrated Conservation Strategy for Cycads in Mexico*, en M. Maunder, C. Clubbe, C. Hankamer y M. Groves (eds.), *Plant conservation in the tropics, perspectives and practices*. Royal Botanic Gardens, Kew, RU, pp. 421-444.
- Walter, K.S., y H.J. Gillet (eds.). 1998. *IUCN red list of threatened plants*. The World Conservation Union, Gland.
- Wandeler, A.I., S. Capt, A. Kappeler y R. Hauser. 1988. Oral immunization of wildlife against rabies: Concept and first field experiments. *Review of Infectious Diseases* **10** Suppl. **4**:S649-S653.
- WAZA. 2005. *Building a future for wildlife: The world zoo and aquarium conservation strategy*. World Association of Zoos & Aquariums, Berna.
- WAZA. 2007. Animals WAZA virtual zoo Socorro Dove, en <<http://www.waza.org/virtualzoo/factsheet.php?id=217-003-041-005&view=Bucerotidae,%20Piciformes,%20Coraciiformes,%20Columbiformes>> (consultado en octubre de 2006).
- Williams, E.S., S.L. Anderson, J. Cavender, C. Lynn, K. List et al. 1996. Vaccination of black-footed ferret (*Mustela nigripes*) × Siberian polecat (*M. eversmanni*) hybrids and domestic ferrets (*M. putorius furo*) against canine distemper. *Journal of Wildlife Diseases* **32**: 417-423.
- Woodroffe, G. 1981. *Wildlife conservation and the modern zoo*. Saiga Publishing, RU.
- Wyse Jackson, P.S., y L.A. Sutherland. 2000. *Agenda Internacional para la Conservación en Jardines Botánicos*. Botanic Gardens Conservation International, Kew, Richmond, RU.