

En este libro hemos intentado sintetizar el estado actual del conocimiento sobre la diversidad biológica del estado de Sonora. Aunque nuestro conocimiento sobre algunos grupos taxonómicos es razonable, es evidente que para la mayoría de los invertebrados y las formas microbianas (bacterias, protistas) existen grandes vacíos de información.

La primera sección del libro explora diversos componentes del ambiente físico y biológico de Sonora. El capítulo sobre la evolución geológica es una síntesis sobre los procesos que han dado forma al paisaje actual del estado. De igual forma, describe la enorme riqueza de fósiles que se han detectado en los diversos sustratos geológicos de la entidad. Llamamos la atención por su importancia biológica los estromatolitos, los trilobites, un ictiosaurio y varios dinosaurios. El capítulo sobre los vertebrados fósiles es un excelente inventario de las localidades y muestra la gran diversidad de vertebrados fósiles del Neógeno de Sonora. En este capítulo se enumeran los registros fósiles de 6 especies de peces, 16 anfibios, 23 reptiles, 44 aves y 83 mamíferos (172 especies de vertebrados) distribuidos en 63 localidades.

El capítulo del clima de Sonora describe los principales sistemas meteorológicos que afectan al estado, así como la variación regional de la precipitación y temperatura. En Sonora tenemos una diversidad climática con 24 tipos de clima según la clasificación de Köppen modificada por García, desde el tipo muy árido cálido hasta el templado subhúmedo. El capítulo sobre la diversidad genética de la biota de Sonora hace una revisión sobre los patrones generales que se han detectado en estudios de cerca de cien especies del estado. Algunos de los patrones que se han detectado incluyen una disminución de la diversidad genética con la latitud, así como una clara estructura filogeográfica

asociada a la separación de la península de Baja California y la formación del Golfo de California.

El capítulo sobre la diversidad ecosistémica describe siete tipos de vegetación para el estado, que incluye el matorral desértico, los bosques de pino-encino de las sierras y el bosque tropical caducifolio del sur de la entidad. Este último tipo de vegetación alcanza su límite norte en Sonora. Algunos de estos ecosistemas están fuertemente amenazados por disturbio antropogénico, principalmente por la conversión a praderas de zacate buffel (*Penisetum ciliare*) y el desarrollo costero. El capítulo sobre los impactos ecológicos describe los procesos funcionales que se han estado afectando en los ecosistemas del estado por los cambios en las políticas de uso del suelo, en particular por la ganadería y la agricultura.

Con respecto a la diversidad de especies, la segunda sección del libro explora nuestro conocimiento sobre hongos, plantas, invertebrados y vertebrados. La tabla 1 muestra un resumen de nuestro conocimiento extraído de cada capítulo de esta sección. Se conocen 81 especies de protistas (mixomicetos). La riqueza de hongos se estima en 1 005 especies distribuidas en 577 hongos y 428 líquenes (tabla 1). Con respecto a plantas, se tiene registro de 80 musgos, 136 helechos y 3 483 especies de angiospermas y gimnospermas. La flora vascular de Sonora, respaldada con ejemplares de herbario, incluye a 3 659 taxones distribuidos en 188 familias y 1 107 géneros. Si excluimos los taxones intraespecíficos (89 variedades y 44 subespecies) y los híbridos, el número total de especies es de 3 483. Asimismo, si excluimos a 246 especies introducidas, existe un total de 3 237 especies nativas registradas hasta la fecha. Se tiene registro de 54 especies de helmintos parásitos de vertebrados terrestres, 58 moluscos terrestres, 387 artrópodos no hexá-

podós y 573 insectos (dos órdenes) para un total de 1 072 especies de invertebrados en el estado. Con respecto a los vertebrados se tienen registradas a 896 especies nativas terrestres distribuidas en 54 peces dulceaúcolas, 35 anfibios, 140 reptiles, 543 aves y 124 mamíferos. La sumatoria del total de especies nativas que se han registrado en el estado y que se incluyen en este libro es de 6 498. Esta estimación hay que verla con reserva, ya que no toma en cuenta a los grupos no considerados en este libro tales como las bacterias, protistas e invertebrados y es probable que el total se aproxime más al orden de las diez mil especies.

Se tiene conocimiento de alrededor de 319 especies que han sido introducidas al estado de Sonora (tabla 1). De éstas destaca el elevado número de plantas (246), mamíferos (32) y peces dulceaúcolas (26). No todas las especies introducidas son invasoras. De hecho, generalmente un porcentaje pequeño de las especies introducidas se vuelven invasoras (Richardson *et al.*, 2000). Por ejemplo, para el caso de las plantas de Sonora, 37 de las 246 especies introducidas (15%) son invasoras. De las especies de plantas introducidas que se han convertido en invasoras en el estado destacan el caso del zacate buffel para el cual existe evidencia de que invade los matorrales desérticos, no permite la regeneración de las especies nativas y, por lo tanto, puede afectar la diversidad biológica de las comunidades invadidas. La invasión del zacate buffel es quizás uno de los problemas más importantes que amenaza seriamente la diversidad y el funcionamiento de los matorrales desérticos del estado de Sonora. Sin embargo, existen otras especies invasoras que afectan otras comunidades. El pino salado (*Tamarix chinensis*) es un árbol invasor de hábitats riparios del norte de Sonora. La mostaza del Sahara (*Brassica tournefortii*) es también una amenaza muy seria a los matorrales desérticos de baja altitud del noroeste del estado. Por otra parte, existen varias especies de peces introducidos que desplazan a las especies nativas y que pueden hibridizar con ellas, con lo que modifican la composición genética de las especies nativas, con consecuencias desconocidas. La rana toro (*Lithobates catesbeiana*)

es una seria invasora de los cuerpos de agua del noroeste del estado, la cual está desplazando a las ranas nativas. Este conjunto de especies invasoras requiere de estudios detallados que permitan conocer los mecanismos de la invasión y del desplazamiento de las especies nativas. El conocimiento de los mecanismos de la invasión puede eventualmente llevar a implementar prácticas efectivas de erradicación de la invasora y de restauración ecológica de las comunidades invadidas. Es por esta razón que creemos que es de extrema importancia mantener un registro sistemático y actualizado de las especies introducidas, sobre todo las que tienen potencial invasor, debido a las enormes pérdidas que pueden ocasionar (Pimentel *et al.*, 2001). En estos casos, una detección temprana y una respuesta rápida suelen ser las herramientas más eficaces para minimizar sus efectos nocivos.

En lo que respecta a las especies extintas y las extirpadas, se tiene registro de veinte (2 extintas y 18 extirpadas; véase tabla 1). Las especies extintas son aquellas en las que han desaparecido todos los individuos de todo su rango de distribución, mientras que las extirpadas son aquellas en las que han desaparecido los individuos de una región particular, en este caso el estado de Sonora. Las dos extinciones registradas en la entidad son un ave y un pez: el carpintero imperial (*Campephilus imperialis*) y el cachorrillo del Santa Cruz (*Cyprinodon arcuatus*). En el caso del carpintero imperial, las causas de la extinción son principalmente la cacería excesiva y la pérdida de su hábitat (Lammertink *et al.*, 2000). En el caso del cachorrillo del Santa Cruz, la causa principal de la extinción fue la alteración del río Santa Cruz y el desplazamiento por parte de especies exóticas (lobinas introducidas; Varela y Hendrickson, en este vol.).

Se han registrado un total de 18 especies extirpadas en el estado, incluyendo nueve especies de peces, un reptil, seis aves y dos mamíferos (tabla 1). Estas especies son la carpa elegante (*Gila elegans*), la carpita afilada (*Plagopterus argentissimus*), la carpa gigante del Colorado (*Ptychocheilus lucius*), el matalote jorobado (*Xyrauchen texanus*), la carpa cola redonda (*Gila robusta*), la carpita aguda (*Meda ful-*

gida), la carpa locha (*Rhinichthys cobitis*), la carpita pinta (*Rhinichthys osculus*), el plateadito del presidio (*Atherinella crystallina*), el cocodrilo (*Crocodylus acutus*), el perico mexicano (*Aratinga holochlora*), el halcón enano (*Falco ruficularis*), la tångara cabeza roja (*Piranga erythrocephala*), el tecolote vermiculado (*Megascops guatemalae*), el atlapetes gorra rufa (*Atlapetes pileatus*), el cacique mexicano (*Cacicus melanicterus*), el oso pardo (*Ursus arctos*) y el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*). Las causas de la extirpación incluyen la modificación del curso de los ríos (Colorado y Santa Cruz), la introducción de especies exóticas, la cacería excesiva y la destrucción de sus hábitats, entre otras. Para las especies extirpadas, existe la esperanza de que al persistir todavía poblaciones en localidades cercanas al estado, se puedan establecer programas de reintroducción una vez que existan condiciones adecuadas para su sobrevivencia y las causas de su extirpación hayan desaparecido del estado. Un caso por demás interesante es el programa de liberación del lobo mexicano en Arizona y Nuevo México (véase <http://www.fws.gov/southwest/es/mexicanwolf/>). En este caso, varios individuos de lobos, descendientes de animales silvestres de varias regiones de México y reproducidos en cautiverio, han sido liberados con éxito en algunas montañas del suroeste de Estados Unidos. Si este programa logra que los lobos sobrevivan en estado silvestre, existe la posibilidad de que algún día puedan reintroducirse a Sonora, una vez que la enorme presión que llevó a su extinción haya desaparecido.

Existen en el estado de Sonora 247 especies listadas en la Norma Oficial Mexicana (NOM), distribuidas en 33 en peligro de extinción, 88 amenazadas y 126 bajo protección especial. Este conjunto de especies enfrentan diversos peligros y amenazas como la cacería ilegal, la alteración y destrucción de su hábitat o la sobreexplotación, entre otros. Creemos que este conjunto de especies requiere de estudios detallados sobre el estatus de sus poblaciones. En algunos casos, el conocimiento es suficiente como para sugerir cambios en el estatus de las especies en la Norma Oficial Mexicana como el que se propone en el capítulo de los peces dulcea-

cuícolas. La información sobre las plantas en la NOM es suficiente como para sugerir algunas modificaciones. Existen especies en la lista que realmente no necesitan protección y existen especies que es necesario agregar en base a las amenazas existentes y a su rareza. Las especies endémicas del estado y algunas de las incluidas en la legislación de Estados Unidos quizás deberían de agregarse y las de protección especial deberían de definirse con mayor claridad. En todo caso, para la mayoría de las especies en la NOM, es necesario estudiar a sus poblaciones, documentar su distribución y abundancia, así como evaluar su estatus por medio de estudios con un enfoque demográfico y genético. Un caso crítico en Sonora es de la codorniz mascarita (*Colinus virginianus ridwayi*). Esta especie fue extirpada de Arizona antes de 1900 y en Sonora casi se ha extinguido, y por tanto es urgente un estudio que nos permita conocer su estatus actual. Estos estudios deberían ser parte de un proyecto coordinado de las instituciones que trabajan en la entidad con el objetivo de conocer su estatus y diseñar estrategias efectivas de conservación.

Es evidente que el conjunto de especies tratadas y descritas en este libro son sólo un subconjunto de la biota terrestre del estado. No incluimos a bacterias y a muchos protistas e invertebrados. Para estos casos nuestro conocimiento es realmente muy pobre. Se sabe que los suelos y rocas de las zonas áridas son ricos en microorganismos que forman las llamadas costras biológicas y el barniz del desierto. Estas comunidades microbianas juegan un papel muy importante en la fertilidad y mantenimiento del suelo y están compuestas de bacterias (García-Pichel *et al.*, 2001), algas (Lewis y Flechtner 2002) y hongos (Taylor-George *et al.*, 1983). Muchas de las especies de algas del suelo que se han detectado en el sur de Arizona (Cameron, 1964) pudieran encontrarse en Sonora. Sin embargo, no hay estudios sistemáticos que hayan documentado la diversidad biológica en suelos del estado de Sonora. Existen, por ejemplo, registros de 43 especies de algas dulceacuícolas (Pedroche *et al.*, 1993). Sin embargo, no contamos con una revisión actualizada para estos grupos y, por lo tan-

to, no podemos contabilizarlos adecuadamente en el total de especies del estado. De igual forma, la diversidad de invertebrados que se reporta en este libro debe ser vista como un punto de partida y una estimación preliminar, ya que es evidente que la riqueza es mucho mayor. Por ejemplo, los registros de los órdenes de insectos que se conocen para el estado, en los cuatro volúmenes sobre los artrópodos de México editados por Llorente y colaboradores (1996, 2000, 2002 y 2004) dan cuenta de 1 387 especies, mientras que los dos órdenes tratados en el capítulo 15 de este libro registran 573 especies. Por esta razón, creemos que el estudio sistemático de los grupos que no fueron tratados adecuadamente en este libro sin duda aportará en el futuro información muy valiosa sobre la biodiversidad de Sonora.

Nuestro conocimiento sobre la diversidad biológica del estado es muy heterogéneo debido a las diferencias regionales en exploración y colecta sistemática de especímenes. La parte desértica y de baja altitud del estado está relativamente bien explorada y colectada. En contraste, existen regiones de la Sierra Madre Occidental y de las sierras del noreste y del sureste del estado que han sido poco exploradas y, por lo tanto, no existe un inventario biótico adecuado. Creemos que es muy importante la exploración y colecta de estas regiones pues es probable que alberguen especies nuevas para la ciencia; por ejemplo, la exploración y colecta sistemática de plantas de la región de Yécora, en la Sierra Madre Occidental, ha documentado cerca de 1 653 especies nativas, de las cuales 21 han sido nuevas para la ciencia. Estas regiones están relativamente bien conservadas y creemos que la documentación de la diversidad biológica del estado no estará completa hasta que estas áreas remotas sean adecuadamente exploradas y colectadas.

Una de las necesidades más urgentes que requiere atención para la documentación adecuada de la diversidad biológica del estado es la inversión en infraestructura que albergue colecciones científicas y en la formación de recursos humanos en sistemática y taxonomía. La capacidad humana e institucional para documentar la biodiversidad es to-

avía muy limitada en el estado. Un porcentaje considerable de los especímenes que han sido colectados en Sonora están depositados en colecciones que se encuentran ya sea en Estados Unidos o en la Ciudad de México. La infraestructura que alberga colecciones en el estado y que cuentan con apoyo institucional se restringe al Herbario y la colección de peces de la Universidad de Sonora, la colección de mamíferos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), unidad Guaymas, y la colección de hongos de la unidad Hermosillo del Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (Cesues). No contamos con colecciones institucionales de insectos o artrópodos en general, ni de anfibios, reptiles y aves. De igual forma, no tenemos especialistas en la gran mayoría de los grupos taxonómicos. Estas limitaciones en la capacidad humana e institucional restringen severamente el desarrollo científico y no permite una adecuada documentación de la biodiversidad del estado.

Creemos que estas limitaciones tienen que enfrentarse seriamente con mayor inversión en infraestructura científica y en la formación de especialistas, así como con esfuerzos por adquirir toda la información disponible sobre las colectas de Sonora en las colecciones existentes fuera de la entidad. Esta enorme información biológica contenida en las colecciones debería de estar disponible en el estado, ya que sin duda sería un instrumento muy útil para fomentar el interés de los estudiantes por documentar la biodiversidad. El poder de las bases de datos modernas para organizar las colecciones y las redes que conectan estas bases de datos como SEINET (<http://seinet.asu.edu/seinet/index.php>) y el programa de evaluación de la Biodiversidad del Archipiélago Madreño (<http://www.madorean.org/maba/symbfauna>) están expandiendo rápidamente los usos potenciales y los usuarios de la información biológica. Creemos que en la próxima década los datos de colecta de gran parte de las colecciones de plantas y animales del noroeste de México y áreas adyacentes del suroeste de Estados Unidos, junto con imágenes e información relacionada, estará disponible en línea. La información en estas bases de datos crecerá considerablemente

y podrá ser usada libremente por estudiantes, investigadores y el público en general para sus proyectos, estudios, presentaciones y actividades de conservación. Creemos que la cooperación y colaboración entre las instituciones de México y Estados Unidos es crucial para organizar y compartir la información de las colecciones. En resumen, creemos que la inversión en infraestructura científica, en la formación de recursos humanos y en la creación de bases de datos regionales es crucial para generar un conocimiento adecuado de la diversidad biológica del estado.

*Francisco E. Molina-Freaner
y Thomas R. Van Devender*

LITERATURA CITADA

- CAMERON, R.E. 1964. Terrestrial Algae of Southern Arizona. *Transactions American Microscopical Society* 83: 212-218.
- GARCÍA-PICHEL, F., A. LÓPEZ-CORTÉS y U. NÜBEL. 2001. Phylogenetic and Morphological Diversity of Cyanobacteria in Soil Desert Crusts from the Colorado Plateau. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 1902-1910.
- LAMMERTINK, M., M.C. ARIZMENDI y G. CEBALLOS. 2000. Carpintero imperial (*Campephilus imperialis*) En: G. Ceballos y L. Márquez, coords. *Las aves de México en peligro de extinción*. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 273-278.
- LEWIS, L.A. y V.R. FLECHTNER. 2002. Green Algae (Chlorophyta) of Desert Microbiotic Crusts: Diversity of North American Taxa. *Taxon* 51: 443-451.
- LLORENTE, J., A.N. GARCÍA A. y E. GONZÁLEZ S., eds. 1996. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- LLORENTE, J., E. GONZÁLEZ S. y N. PAPAVERO, eds. 2000. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- LLORENTE, J., J.J. MORRONE, O. YAÑEZ O. e I. VARGAS F., eds. 2004. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. IV. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- LLORENTE, J. y J.J. MORRONE, eds. 2002. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- PEDROCHE, F.F., K.M. DRECKMANN, A. SENTIÉS y R. MARGAIN-HERNÁNDEZ. 1993. Diversidad Algal en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* XLIV: 69-92.
- PIMENTEL, D., S. MCNAIR, J. JANECKA, J. WIGHTMAN, C. SIMMONDS, C. O'CONNELL, E. WONG, L. RUSSEL, J. ZERN, T. AQUINO y T. TSOMONDO. 2001. Economic and Environmental Threats of Alien Plant, Animal, and Microbe Invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84: 1-20.
- RICHARDSON, D.M., P. PYŠEK, M. REJMĀNEK, M.G. BARBOUR, F.D. PANETTA y C.J. WEST. 2000. Naturalization and Invasion of Alien Plants: Concepts and Definitions. *Diversity and Distributions* 6: 93-107.
- TAYLOR-GEORGE, S., F. PALMER y J.T. STALEY. 1983. Fungi and Bacteria Involved in Desert Varnish Formation. *Microbial Ecology* 9: 227-245.

Tabla 1. Resumen de la diversidad biológica terrestre del estado de Sonora
Número de especies nativas, introducidas, extintas, extirpadas o en alguna categoría de riesgo
según la Norma Oficial Mexicana

Grupo Taxonómico	Número de especies nativas	Número de especies introducidas	Número de especies extintas/extirpadas	Número de especies en peligro de extinción/amenazadas/protegidas	Referencia
Protista	81	?	?	?	Esqueda <i>et al.</i> , en este vol.
Hongos					
Hongos	577	?	?	?	Esqueda <i>et al.</i> , en este vol.
Líquenes	428	?	?	?	Nash y Herrera, en este vol.
Plantas					
Musgos	80	?	?	?	Delgadillo, en este vol.
Helechos	134	2	?	?	Yatskievych <i>et al.</i> , en este vol.
Angiospermas y Gimnospermas	3 231	246	?	4/20/33	Van Devender <i>et al.</i> , en este vol.
Invertebrados					
Helmintos parásitos de vertebrados	54	?	?	?	Pérez Ponce de León <i>et al.</i> , en este vol.
Moluscos	58	1	?	?	Mead <i>et al.</i> , en este vol.
Artrópodos no hexápodos	387	?	?	?	Castrezana, en este vol.
Insectos	573	?	?	?	Bailowitz y Palting, en este vol.
Vertebrados					
Peces	53	26	1/9	8/10/4	Varela y Hendrickson, en este vol.
Anfibios	35	2	0/0	0/2/10	Enderson <i>et al.</i> , en este vol.
Reptiles	140	5	0/1	5/29/40	Enderson <i>et al.</i> , en este vol.
Aves	543	5	1/6	9/17/36	Villaseñor <i>et al.</i> , en este vol.
Mamíferos	124	32	0/2	7/10/3	Castillo <i>et al.</i> , en este vol.
Total	6 498	319	2/18:20	33/88/126:247	