

DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE SONORA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE SONORA

FRANCISCO E. MOLINA FREANER Y THOMAS R. VAN DEVENDER
EDITORES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



MÉXICO 2010

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DR. JOSÉ NARRO ROBLES
RECTOR

DR. SERGIO M. ALCOCER MARTÍNEZ DE CASTRO
SECRETARIO GENERAL

DR. CARLOS ARÁMBURO DE LA HOZ
COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

DR. CÉSAR AUGUSTO DOMÍNGUEZ PÉREZ-TEJADA
DIRECTOR

DRA. ELLA VÁZQUEZ DOMÍNGUEZ
SECRETARIA ACADÉMICA

COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO
Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

MTRO. JUAN RAFAEL ELVIRA QUESADA
SECRETARIO TÉCNICO

DR. JOSÉ SARUKHÁN KERMEZ
COORDINADOR NACIONAL

MTRA. ANA LUISA GUZMÁN Y LÓPEZ FIGUEROA
SECRETARIA EJECUTIVA

M. EN C. MARÍA DEL CARMEN VÁZQUEZ ROJAS
DIRECTORA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Primera edición: febrero de 2010

D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, 04510, México, Distrito Federal

ISBN 978-607-02-0427-2

Esta obra se realizó con apoyo de la Comisión Nacional para el Conocimiento
y Uso de la Biodiversidad (Conabio)

Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos de este libro
sin la autorización por escrito de los editores

Portada:

Fotografía de fondo: Erik F. Enderson (vista de Punta y Estero Sargento
en la costa central de Sonora).

Fotografía superior izquierda: Brad Boyle (matorral desértico con *Cylindropuntia bigelovii*
y *Fouquieria splendens* sobre sustrato volcánico en la región del Pinacate).

Fotografía superior derecha: Thomas R. Van Devender (bosque tropical caducifolio con cuajilote,
Pseudobombax palmeri, de la región de Álamos).

Fotografía inferior izquierda: Erik F. Enderson (nubes bajas cubriendo las barrancas
de la Sierra Madre Occidental en la región de Yécora).

Fotografía inferior derecha: Sky Jacobs (pastizal y bosque ripario con álamos, *Populus fremontii*,
en el rancho Los Fresnos en la cuenca del río San Pedro).

Portada e interiores: José Juan Cantúa

Edición: Mora-Cantúa Editores, S. A. de C. V.

IMPRESO Y HECHO EN MÉXICO
PRINTED AND MADE IN MEXICO

ÍNDICE

Introducción

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

13

PRIMERA PARTE

ENTORNO FÍSICO Y BIOLÓGICO

Evolución geológica y disposición del paisaje actual

Carlos M. González-León

19

Localidades de vertebrados fósiles del Neógeno (Mioceno, Plioceno y Pleistoceno): una evaluación preliminar de la biodiversidad del pasado

Richard S. White, Jim I. Mead, Arturo Baez y Sandra L. Swift

51

Clima

Luis Brito-Castillo, Michael A. Crimmins y Sara C. Díaz

73

Diversidad genética de la biota

*Francisco E. Molina-Freaner, Therese A. Markon, Edward J. Pfeiler, Octavio R. Rojas-Soto,
Alejandro Varela-Romero, Adrián Quijada-Mascareñas, Martín Esqueda y Gloria Yépez-Plascencia*

97

Los ecosistemas terrestres: un diverso capital natural

Angelina Martínez-Yrizar, Richard S. Felger y Alberto Búrquez

129

Impactos ecológicos por el uso del terreno en el funcionamiento de ecosistemas áridos y semiáridos

*Alejandro E. Castellanos-Villegas, Luis C. Bravo, George W. Koch, José Llano, Deladier López, Romeo Méndez,
Julio C. Rodríguez, Raúl Romo, Thomas D. Sisk y Gertrudis Yanes-Arriaga*

157

SEGUNDA PARTE

DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Hongos

*Martín Esqueda, Martha Coronado, Aldo Gutiérrez, Ricardo Valenzuela, Santiago Chacón, Robert L. Gilbertson,
Teófilo Herrera, Marcos Lizárraga, Gabriel Moreno, Evangelina Pérez-Silva y Thomas R. Van Devender*

189

Líquenes: el corazón del Desierto Sonorense
Thomas H. Nash III y María de los Ángeles Herrera-Campos
207

Situación del conocimiento sobre los musgos
Claudio Delgadillo M.
211

Pteridofitas
George Yatskievych, Thomas R. Van Devender y Ana Lilia Reina-Guerrero
217

Biodiversidad de las plantas vasculares
*Thomas R. Van Devender, Richard S. Felger, Mark Fishbein, Francisco E. Molina-Freaner,
Jesús Sánchez-Escalante y Ana Lilia Reina-Guerrero*
229

Helminthos parásitos de vertebrados silvestres
Gerardo Pérez-Ponce de León, Luis García-Prieto y Berenit Mendoza-Garfias
263

Moluscos terrestres
Jim I. Mead, Edna Naranjo-García, Lance Gilbertson y R. Wayne Van Devender
285

Artrópodos terrestres no-hexápodos
Sergio J. Castrezana
293

Biodiversidad de los insectos con especial énfasis en Lepidoptera y Odonata
Richard A. Ballowitz y John Palting
315

Peces dulceacuícolas
Alejandro Varela-Romero y Dean A. Hendrickson
339

**Una sinopsis de la herpetofauna con comentarios
sobre las prioridades en investigación y conservación**
Erik F. Enderson, Adrián Quijada-Mascareñas, Dale S. Turner, Robert L. Bezy y Philip C. Rosen
357

Avifauna
J. Fernando Villaseñor-Gómez, Osvel Hinojosa-Huerta, Eduardo Gómez-Limón, David Krueper y Aaron D. Flesch
385

Mamíferos

Reyna A. Castillo-Gómez, Juan Pablo Gallo-Reynoso, Janitzio Egado-Villareal y William Caire

421

Resumen

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

437

Autores

445

Galería fotográfica

455

INTRODUCCIÓN

El estado de Sonora se encuentra ubicado en el noroeste de México en la frontera con Estados Unidos. Tiene una extensión de 184 934 km², lo que lo hace el segundo más grande del país, y ocupa cerca de 9.2% del territorio nacional. Por su ubicación biogeográfica, Sonora se localiza en una zona de transición entre la región Neotropical y la región Neártica. Colinda al oeste con el estado de Baja California y el Golfo de California, al sur con el estado de Sinaloa, al este con Chihuahua y al norte con Arizona y Nuevo México. Una buena parte de su superficie está cubierta por matorrales desérticos, razón por la cual se le considera como una región árida. Sin embargo, el sur del estado sustenta selvas caducifolias y la Sierra Madre Occidental posee bosques de pino-encino, lo que genera una diversidad ecosistémica considerable.

Las crónicas y descripciones que hicieron los primeros exploradores españoles de los grupos indígenas de Sonora muestran que éstos tenían un buen conocimiento de la historia natural de los organismos que habitan lo que hoy es el estado de Sonora. Por ejemplo, Juan Nentvig ([1764] 1971) describió a algunos de los mamíferos, aves, reptiles, insectos y plantas más comunes durante el período 1750-1767, así como diversos aspectos del conocimiento y uso por parte de los grupos indígenas.

Por su ubicación geográfica y la tradición centralista en México, el estado de Sonora ha sido históricamente considerado lejano y fuera de la influencia de las instituciones del centro de la república, lo que ha propiciado que las expediciones de colecta científica de seres vivos haya estado a cargo principalmente de naturalistas extranjeros. No obstante que la expedición científica de Sessé y Mocino llegó a Sonora en octubre de 1791 (Maldonado y Puig-Samper, 2000), colectando lo que qui-

zás fueron los primeros ejemplares científicos en el estado, la mayor parte de las expediciones y colectas científicas fueron hechas por naturalistas y científicos extranjeros. Las expediciones y colectas científicas tuvieron un incremento considerable a partir del siglo xx. Esta actividad dio como resultado intentos de sintetizar el conocimiento sobre la diversidad biológica de varios grupos taxonómicos en el estado a través de la publicación de listados de especies. Para el caso de los vertebrados, por ejemplo, Bogert y Oliver (1945) publicaron un listado y análisis de los anfibios y reptiles, Burt (1938) y Caire (1978) analizaron los mamíferos y Van Rossem (1945) y Russell y Monson (1998) hicieron un inventario de las aves del estado. Para el caso de las plantas, Gentry (1942) publicó la flora y vegetación del río Mayo (revisada por Martin *et al.*, 1998), White (1948) publicó la flora del río Bavispe, Shreve y Wiggins (1964) publicaron la flora del Desierto Sonorense y Beetle y colaboradores (1991) publicaron las gramíneas de Sonora. Estos intentos de síntesis han sido excelentes contribuciones al conocimiento de la diversidad biológica del estado. Sin embargo, no existen intentos previos de reunir el conocimiento actual sobre la biodiversidad de los principales grupos taxonómicos de Sonora en una sola obra.

El objetivo central del presente trabajo es proporcionar una síntesis del conocimiento actual sobre la diversidad biológica de Sonora. Esta obra está dirigida principalmente a estudiantes de licenciatura y de posgrado, al público interesado en temas de historia natural y a profesionales e investigadores interesados en la biodiversidad del estado. Pretende fomentar el interés por el estudio de los seres vivos de la entidad, en particular por aquellos que han sido poco estudiados, así como promover

la exploración biológica de regiones que no han sido colectadas de manera sistemática. La documentación de la diversidad biológica requiere de personal con una formación académica adecuada, de la exploración y colecta sistemática, así como de infraestructura donde depositar y organizar las colecciones. Otro de los objetivos de la presente obra es identificar cuáles son las necesidades más apremiantes de infraestructura científica en Sonora.

Como editores de este libro, invitamos a diversos autores de instituciones de México y Estados Unidos a contribuir con capítulos que sintetizaran el estado actual de nuestro conocimiento sobre la biodiversidad de Sonora. Nuestra intención fue cubrir el mayor número posible de grupos taxonómicos de la biota, así como incluir los temas más relevantes. Para ello invitamos a investigadores que trabajan en la región y que tienen experiencia en el estudio de la biodiversidad del estado.

El libro está organizado en dos secciones. La primera está representada por seis capítulos que describen aspectos del entorno físico y biológico del estado, así como temas relevantes de la biodiversidad de Sonora. Estos capítulos describen y analizan la evolución geológica, los vertebrados fósiles, el clima, la diversidad genética de la biota, la diversidad ecosistémica y la transformación que ha sufrido el paisaje y se establecen como preámbulo y contexto general para introducir la segunda sección.

De esta forma, la segunda sección describe y analiza la diversidad de especies de hongos, líquenes, musgos, helechos, gimnospermas y angiospermas, helmintos parásitos de vertebrados, moluscos terrestres, artrópodos no hexápodos, insectos, peces dulceacuícolas, anfibios y reptiles, aves y mamíferos del estado. En cada capítulo se intenta hacer una síntesis del conocimiento actual de cada grupo, la riqueza biológica conocida, las especies extirpadas o extintas, las amenazas más importantes y las perspectivas de conservación. Cada capítulo de esta sección está acompañado de listados de especies de cada grupo taxonómico, los cuales vienen en un disco compacto adjunto al libro. Estos listados representan un inventario de la biota del estado, de la cual, al final, presentamos un re-

sumen del conocimiento que existe sobre ésta, así como algunas ideas en torno a las necesidades más apremiantes de investigación, de colecta y de infraestructura científica.

El lector podrá constatar que el conocimiento varía considerablemente en los diferentes grupos taxonómicos, desde aquéllos poco conocidos y con muy poca documentación como los insectos, hasta grupos bien documentados como los helechos, las aves y los peces dulceacuícolas. En todos los casos, cada capítulo debe ser visto como un punto de partida que intenta resumir lo que sabemos del grupo y como una guía que identifica las necesidades más importantes de investigación con el objetivo de mejorar nuestro conocimiento, tarea en la que el estado de Sonora ofrece oportunidades únicas, ya que todavía existen enormes áreas donde la vegetación natural está en condiciones relativamente buenas. En este contexto, quisiéramos llamar la atención sobre el peligro que representan las especies invasoras, mismas que pueden afectar seriamente la diversidad biológica, por lo que tenemos que estar alertas sobre la introducción de nuevas especies o la expansión de las ya establecidas, ya que la detección temprana y la respuesta rápida son cruciales para minimizar su impacto en el estado.

Esperamos que esta obra fomente el interés entre los estudiantes y profesionistas por estudiar y documentar la diversidad biológica del estado. Hemos incluido la dirección postal y electrónica de los autores con la intención de que todos los interesados puedan contactarlos y obtener mayor información. También esperamos que esta obra cubra un espacio, aunque sea pequeño, del enorme vacío de información que existe sobre la biodiversidad del estado. Finalmente, quisiéramos que este libro pudiera tener influencia en la solución de problemas de conservación y manejo de los recursos biológicos de Sonora.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a cada uno de los autores de los capítulos de este libro

por su esfuerzo en sintetizar nuestro conocimiento. También queremos agradecer la generosa labor de los revisores de cada capítulo. Ana Lilia Reina realizó un excelente trabajo en la traducción de varios capítulos y Alejandro Castellanos, Héctor Arita y Carlos González hicieron sugerencias valiosas en torno a su organización. César Domínguez brindó todo el apoyo necesario para que este libro pudiera publicarse. Queremos agradecer a cada uno de los fotógrafos que generosamente proporcionaron las imágenes que aparecen en la galería fotográfica de este libro.

Un agradecimiento especial a cada una de las instituciones que dieron su apoyo incondicional y permitieron que este libro pudiera salir a la luz pública. Nuestro agradecimiento a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), al Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), a la Comisión de Ecología y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (CEDES), a Pronatura noroeste, a la Sky Island Alliance, a la fundación T & E, Inc., a la Tucson Cactus and Succulent Society Inc., a la Cactus and Succulent Society of America, a la Tucson Herpetological Society y a la Rainbow Garden Bookshop por su apoyo financiero. Varias instituciones que han tenido un interés constante en documentar la biodiversidad de Sonora merecen también nuestro agradecimiento: la Universidad de Arizona y el Museo del Desierto de Sonora-Arizona.

Francisco Molina desea expresar su agradecimiento a Clara, Tania y Diego por sus críticas y propuestas. T. R. Van Devender expresa su aprecio y agradecimiento por las muchas personas que han compartido el placer de más de treinta años de viajes al campo por el estado de Sonora, especialmente a Paul Martin, a Richard Felger y a Ana Lilia Reina Guerrero, su copiloto.

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

LITERATURA CITADA

- BEETLE, A.A., D.J. JOHNSON, A. NAVARRO-C. y R. ALCARAZ-F. 1991. *Gramíneas de Sonora*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Hermosillo, Sonora, México.
- BOGERT, C.M. y J.A. OLIVER. 1945. A Preliminary Analysis of the Herpetofauna of Sonora. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 83: 297-426.
- BURT, W.H. 1938. *Faunal Relationships and Geographic Distribution of Mammals in Sonora, México*. Miscellaneous Publications, Museum of Zoology, University of Michigan.
- CAIRE, W. 1978. The Distribution and Zoogeography of the Mammals of Sonora, México. Tesis de doctorado. University of New Mexico, Albuquerque.
- GENTRY, H.S. 1942. *Río Mayo Plants. A Study of the Río Mayo, Sonora*. Carnegie Institution of Washington Publication, núm. 527, Washington, D.C.
- MALDONADO, J.L. y M.A. PUIG-SAMPER. 2000. La aventura ultramarina de Sessé y Mociño. La real expedición botánica a Nueva España (1787-1803) En: M.P. San Pío Alardeen y M.A. Puig-Samper, eds. *El águila y el nopal. La expedición de Sessé y Mociño a Nueva España (1787-1803)* Lunwerg, Barcelona, pp. 35-52.
- MARTIN, P.S., D. YETMAN, M. FISHBEIN, P. JENKINS, T.R. VAN DEVENDER y R.K. WILSON. 1998. *Gentry's Río Mayo Plants. The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico*. University of Arizona Press, Tucson.
- NENTVIG, J. (1764) 1971. *Descripción geográfica, natural y curiosa de la Provincia de Sonora, por un amigo del Servicio de Dios y de el Rey Nuestro Señor*. Publicación del Archivo General de la Nación, México.
- RUSSELL S.M. y G. MONSON. 1998. *The Birds of Sonora*. University of Arizona Press, Tucson.
- SHREVE, F. y I.L. WIGGINS. 1964. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, California.
- VAN ROSSEM, A.J. 1945. *A Distributional Survey of the Birds of Sonora, Mexico*. Louisiana State University, Occasional Papers of the Museum of Zoology, núm. 21, 379 p.
- WHITE, S.S. 1948. The Vegetation and Flora of the Region of the Rio Bavispe in Northeastern Sonora, Mexico. *Lloydia* 11: 229-302.

PRIMERA PARTE

ENTORNO FÍSICO
Y BIOLÓGICO

EVOLUCION GEOLÓGICA Y DISPOSICIÓN DEL PAISAJE ACTUAL

CARLOS M. GONZÁLEZ-LEÓN¹

RESUMEN. Las rocas más antiguas de Sonora son metamórficas e ígneas con edades entre 1 800 y 1 100 Ma, e indican que durante el tiempo Proterozoico la región sufrió procesos tectónicos y magmáticos que produjeron montañas. Entre 1 100 y 800 Ma la región estuvo sujeta a la erosión, permitiendo las incursiones marinas donde vivieron los primeros organismos simples que habitaron la Tierra. En el Período Cámbrico los mares someros albergaron abundantes formas de vida como los trilobites, braquiópodos y bivalvos, mientras que durante el resto de la Era Paleozoica y hasta principios de la Mesozoica, el territorio continuó siendo invadido por mares tropicales. Durante el Mesozoico, Sonora estuvo dominado por actividad magmática, pero una última invasión marina ocurrió a finales del Jurásico y principios del Cretácico. A finales del Cretácico en la región se desarrolló un arco magmático y prevaleció un efecto climático de invernadero, el cual está registrado por las rocas del grupo Cabullona. Para el Cenozoico se configuró la actual geomorfología del estado: la Sierra Madre Occidental se formó por vulcanismo que ocurrió entre 33 y 27 Ma y la fisiografía de Sierras y Valles Paralelos se formó por fallamiento que empezó a los ~27 Ma. La apertura del Golfo de California inició hace ~12 Ma y, asociado a ella, el vulcanismo de El Pinacate empezó entre hace 3 a 4 Ma. El Gran Desierto empezó a formarse hace ~1 Ma cuando Sonora estaba poblada por una megafauna de vertebrados, y al principio del Holoceno el clima entró a una época interglacial que permitió el poblamiento de sus primeros habitantes, los Clovis, y la extinción de la megafauna.

ABSTRACT. The oldest rocks of Sonora are metamorphic and igneous rocks with ages between 1 800 and 1 100 Ma, that record tectonic and magmatic processes

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

that formed mountains during Proterozoic time. Between 1 100 and 800 Ma the erosive processes leveled the relief of the region giving way to the first marine incursions where some of the oldest forms of life on Earth flourished. During Cambrian time an abundant fauna of trilobites, brachiopods and bivalves lived in those shallow tropical seas that intermittently continued invading the region during the Paleozoic Era and early Mesozoic time. During the Mesozoic, Sonora was dominated by magmatic activity but a last marine incursion occurred between Late Jurassic and early Cretaceous. A magmatic arc started to develop by Late Cretaceous time, just when the World was subject to greenhouse conditions whose effect in Sonora are recorded by rocks of the Cabullona Group. The present geomorphology of the state was erected during the Cenozoic: The Sierra Madre Occidental was formed by profuse volcanism between 33 and 27 Ma and the Basin and Ranges physiography started to form by faulting at ~27 Ma. The opening of the Gulf of California initiated at ~12 Ma and one of its associated consequences was initiation of volcanic activity, at ~4 Ma, that formed the El Pinacate volcanic field. The El Gran Desierto started to develop closet to 1 Ma when an abundant vertebrate megafauna was living in Sonora. At the beginning of the Holocene climate shifted from a glacial to an interglacial stage, the first human Clovis populated the region, and the megafauna became extinct.

INTRODUCCIÓN

La región noroeste de México que incluye Sonora ha sido el escenario de complejos cambios geológicos, bióticos y climáticos que han ocurrido desde la formación de su primera corteza terrestre, durante el Eón Proterozoico, hace cerca de dos mil

millones de años (Ma). Desde entonces, y puesto que la corteza terrestre (que aloja a los continentes) es dinámica debido al proceso de la tectónica de placas, la región de Sonora ha ocupado distintas latitudes geográficas formando parte de diversos continentes. La compleja historia geológica que registran las rocas de esta región empieza cuando sus rocas más antiguas, que son graníticas y metamórficas, pertenecían al paleo-continente llamado Columbia (figura 1A). Estas rocas, al ser fechadas por métodos isotópicos, han proporcionado edades entre 1 600 y 1 800 Ma (Anderson y Silver, 2005). El continente Columbia aglutinaba a núcleos de las rocas más antiguas alrededor de los cuales fueron creciendo los continentes actuales, pero posteriormente sus placas tectónicas se reorganizaron para formar un nuevo y más extenso continente llamado Rodinia, que se consolidó hace 1 100 Ma (figura 1B).

El presente trabajo se propone dar una semblanza general de la compleja evolución geológica que ha experimentado la región de Sonora, desde los tiempos de formación de sus primeras rocas hasta el actual: una historia de aproximadamente 1 800 Ma. Dicha historia, que está escrita en las rocas que afloran en sus valles y sierras, ha sido hurgada, descifrada y reportada por muchos naturalistas, geólogos y paleontólogos, cuyo trabajo acumulado ha contribuido a su conocimiento. Entre los primeros de ellos están el de un minero de nombre A. Rémond de Corbiveau, quien, en 1866, notó la presencia de carbón y plantas fósiles del triásico en la localidad de Los Bronces, cerca del poblado de San Javier en el centro de Sonora (en Burckhardt, 1930), el del paleontólogo W. M. Gabb, quien, en 1869, publicó un trabajo con ilustraciones de los fósiles cretácicos del cerro Las Conchas de Arivechi, el del médico G.E. Goodfellow, quien, en 1887, reportó el temblor del 3 de mayo de 1887 en la región de Bavispe y el del geólogo José G. Aguilera, quien, un año después, en 1888, publicó el primer mapa geológico de Sonora (Suter, 2007). Un primer esfuerzo para compilar ampliamente la historia geológica de Sonora fue realizado por el geólogo A. Escárcega-Escárcega en 1985. Aunque el

enfoque y propósito del presente trabajo no permite hacer una revisión exhaustiva de las numerosas contribuciones a este conocimiento, a lo largo del texto se mencionan algunas de las publicaciones más importantes sobre las que basamos buena parte del conocimiento actual.

ERA NEOPROTEROZOICA

Las rocas que constituyen el basamento de Sonora son rocas metamórficas e ígneas intrusivas de carácter granítico que registran los procesos geológicos más antiguos que ocurrieron en esta región. Estas rocas pertenecen al Eón Proterozoico y fueron formadas entre 1 800 y 1 600 Ma. Las rocas metamórficas fueron originalmente rocas sedimentarias y volcánicas que se agregaron a los supercontinentes Columbia y Rodinia por procesos tectónicos. Estos procesos las deformaron, plegándolas, fallándolas y metamorfizándolas y, finalmente, dieron lugar a su levantamiento para formar grandes cordilleras y montañas. Contemporánea a esa deformación debió haber ocurrido actividad ígnea que se continuó hasta hace 1 100 Ma, tal como se infiere por la presencia de cuerpos de rocas graníticas con edades de 1 700, 1 400 y 1 100 Ma que cortan a las rocas metamórficas (figura 2A). Estos cuerpos graníticos corresponden a cámaras magmáticas que alimentaron a volcanes cuyos productos (rocas volcánicas) deben haber sido erosionados, ya que no se observan en la región.

Durante los aproximadamente 300 Ma que siguieron a estos eventos tectónicos y magmáticos la región muy probablemente permaneció emergida y en quiescencia (sin movimientos tectónicos) y en una paleolatitud cercana al Ecuador. Durante ese tiempo, que va de entre ~1 100 a 800 Ma (figura 1B), los procesos erosivos debieron haber causado la degradación del relieve montañoso y transformado la región en una gran planicie con altitud cercana al nivel del mar.

Hace aproximadamente 800 Ma, todavía durante el tiempo Proterozoico, el supercontinente Rodinia empezó de nuevo a fragmentarse (Meert y

Torsvik, 2003) para formar dos grandes masas terrestres llamadas Laurentia y Gondwana (figuras 1C y D), pero Sonora permaneció en Norteamérica dentro del continente Laurentia. Este reajuste de placas continentales fue probablemente una de las causas de las oscilaciones del nivel del mar que provocó que la región de Sonora sufriera varias incursiones marinas durante los siguientes 540 Ma, desde finales del Proterozoico (Neoproterozoico) hasta el Período Pérmico en la Era Paleozoica, esto es, entre aproximadamente 800 y 260 Ma.

Las primeras invasiones marinas se dieron del Neoproterozoico al período Cámbrico (entre 800 Ma y 500 Ma). Durante ese tiempo los mares cubrieron periódicamente gran parte del occidente de Norteamérica y en el territorio de Sonora se extendieron desde la región de Caborca hasta Sahuaripa, pasando por los alrededores de Hermosillo, tal como lo prueba la presencia de rocas sedimentarias que se formaron en los fondos de esos mares (figura 2A). Los fondos marinos, sin embargo, no alcanzaron grandes profundidades y la región permaneció bajo aguas someras donde predominaban ambientes costeros, de intermareas y playa. Periódicamente las invasiones marinas alternaban con regresiones marinas (es decir, períodos en que el mar se alejaba del continente) y durante esos tiempos se desarrollaban ríos y localmente áreas con ambientes desérticos donde se depositaban sedimentos que ahora se preservan como rocas sedimentarias.

El registro estratigráfico y fósil de estas primeras incursiones marinas está bien documentado en la región central de Sonora por las rocas sedimentarias (conglomerados, areniscas, limolitas, calizas y dolomitas que alcanzan ~3 000 m de espesor) de los grupos Las Víboras y El Águila, que fueron formadas principalmente en ambientes marinos someros, entre aproximadamente 800 y 700 Ma (Stewart *et al.*, 2002). Un poco después siguió el depósito de los sedimentos que forman el Grupo Las Bolas en la región de Sahuaripa y que afloran en la Sierra Chiltepín (localizada a diez kilómetros al poniente de Sahuaripa). El Grupo Las Bolas alcanza 2 600 m de espesor y está formado por calizas, dolomitas y

areniscas que se formaron en ambientes de intermareas y ríos. Contiene además un paquete de diamictitas (rocas formadas por procesos glaciales) que se correlaciona con niveles semejantes que están presentes en rocas del suroeste de Estados Unidos, donde se considera tienen entre 760 y 700 Ma de edad.

Otra sucesión de rocas, un poco más jóvenes, que fueron formadas durante la transición del Neoproterozoico al Cámbrico, es la que aflora en la región entre Hermosillo y Caborca y que alcanza un espesor de al menos 3 300 m (figuras 2A y 3). Estas rocas sedimentarias fueron formadas en ambientes marinos de aguas someras, cálidas y ecuatoriales y se dividen en varias formaciones (figura 3; Stewart *et al.*, 1984). Fue en esos ambientes marinos de Sonora y de otras regiones de la Tierra donde empezaron a desarrollarse algunas formas de vida primitivas que después dieron origen a organismos más avanzados.

Las primeras trazas de vida que aparecieron sobre la Tierra pertenecen a cianobacterias, también llamadas algas «azul-verde». Éstas son formas de carácter unicelular, acuáticas y fotosintéticas que se han encontrado fosilizadas en rocas de hasta ~3 500 Ma. Aunque las cianobacterias existen todavía formando uno de los grupos importantes de las bacterias, en el Arqueano fueron responsables de formar la primera atmósfera oxigenada de la Tierra. Sus abundantes acumulaciones en los fondos marinos del Proterozoico constituían estructuras biogénicas en forma de carpetas y montículos, muchas de las cuales se preservaron, por lo que ahora las encontramos fósiles y se conocen con el nombre de *estromatolitos*. Los estromatolitos son los microfósiles más antiguos que conocemos y son comunes en las rocas sedimentarias que se formaron a partir de hace 1 000 Ma.

Algunas formaciones de las rocas Neoproterozoicas de Sonora tienen capas o niveles donde los estromatolitos son abundantes. Los más antiguos ocurren en capas dolomíticas del grupo Las Bolas (formaciones Año Nuevo y Monteso) y en las formaciones Gamuza y Papalote de la región de Caborca (figura 3). Los estromatolitos de la formación Gamuza pertenecen a los géneros *Conophyton*,

Jacutophyton y *Platella* (figura 4A) (Weber y Cevallos-Ferriz, 1980; Cevallos-Ferriz y Weber, 1980; Cevallos-Ferriz *et al.*, 1981; Weber *et al.*, 1979). También, en la misma secuencia de rocas Neoproterozoicas de la región de Caborca y en capas de caliza de la formación El Arpa (figura 3) se descubrió una microbiota de filamentos tipo algales, entre las que se distingue el género *Eomycetopsis*(?) (McMenamin *et al.*, 1983). En las rocas de la formación Clemente (figura 3) se han encontrado trazas de fósiles que pudieran pertenecer a los organismos eucariontes más antiguos, los cuales son conocidos como la biota Ediacara (McMenamin, 1996). El surgimiento de la biota Ediacara en la Tierra, que ocurrió entre los 575 y 542 Ma (Narbonne, 2005), es un parteaguas en la evolución de la vida, ya que, en contraste con las formas microscópicas que dominaron la vida anterior, ésta contiene los primeros organismos macroscópicos y de organización compleja que existieron. Los organismos Ediacara fueron marinos, diversos, abundantes y cosmopolitas, tal como lo prueba su presencia en varias localidades de los cinco continentes (Narbonne, 2005). La biota Ediacara la forman principalmente impresiones dejadas por organismos de cuerpos blandos (entre los que se tienen esponjas y cnidarios), sus huellas y perforaciones (algunas fueron de gusanos) y, en menor proporción, restos de sus partes duras. Los fósiles tipo Ediacara reportados de la formación Clemente (figura 3) (McMenamin, 1996; McMenamin y D'Ambrosio, 1997; McMenamin, 2001) pertenecen a *Evandavia aureola* (McMenamin, 2001) (figura 4E) y *Sekwia* (figura 4D) y las trazas o huellas clasificadas como *Lockeia*, *Palaeophycus tubularis* y *Vermiforme antiqua*. McMenamin (1996) consideró esta fauna como la más antigua de Ediacara y le asignó una edad aproximada de 600 Ma.

Otra fauna del tipo Ediacara ocurre en rocas sedimentarias de la formación La Ciénega (figura 3) de la región de Caborca (McMenamin *et al.*, 1983; Stewart *et al.*, 1984). La forman conchas de formas tubulares y cónicas de tamaños milimétricos que ocurren en dolomitas arenosas de esa formación y que pertenecen a los géneros *Cloudina* (fi-

gura 4B) (Sour-Tovar *et al.*, 2007), *Sinotubulites ciengensis*, *Turcutheca?* y probablemente el fósil traza *Rusophycus* (Stewart *et al.*, 1984; McMenamin y D'Ambrosio, 1997). A esta fauna se le da también el nombre de «pretrilobítica», ya que anuncia el pronto advenimiento de una «explosión biótica» de organismos superiores que ocurrió durante el período Cámbrico. A diferencia de las trazas y moldes dejados por la fauna Ediacara, los organismos con los que se inició (hace aproximadamente 542 Ma) y continuó después el período Cámbrico dejaron fósiles de las partes duras de sus cuerpos. Su inicio es considerado por los paleontólogos con la aparición por primera vez del fósil *Treptichnus pedum* (figura 4C). Este fósil ocurre en la parte inferior de la formación Puerto Blanco en el cerro La Ciénega al sur de Pitiquito (figura 3), mientras que en los estratos que siguen hacia arriba empiezan a dominar macrofósiles de los primeros trilobites, braquiópodos y arqueociatidos (tipo de esponjas) (figura 3) que fueron organismos abundantes, diversos y cosmopolitas durante principios de la Era Paleozoica.

ERA PALEOZOICA

En Sonora, el límite entre las eras Neoproterozoica y Paleozoica de la historia de la Tierra, el cual además coincide con el inicio del período Cámbrico, se ubica muy probablemente en la parte inferior del paquete de rocas sedimentarias que corresponde a la formación Puerto Blanco (figura 3) (Sour-Tovar *et al.*, 2007). Los primeros macrofósiles cámbricos aparecen en la parte media de esa formación, a ~420 m por encima de la fauna pretrilobítica de la formación La Ciénega (figura 3). Hacia la parte superior de la columna sedimentaria cámbrica de la región de Caborca la fauna fósil se vuelve más abundante y diversa dentro de las formaciones Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren (figura 3) y consiste de braquiópodos, trilobites, bivalvos, arqueociatidos y gasterópodos. De ella, en 1952 Christina Lochman Balk identificó diversas especies nuevas de trilobitas a las cuales les asignó nombres científicos que hacen

referencia a características regionales y nacionales obvias. Ejemplos de éstas son: *Caborcella arrojensis*, *Bonnia sonora*, *Albertella proveedora*, *Alokitokare mexicana*, *Arellanella caborcana*, *Arellanella sonora*, *Mexicaspis difuntosensis*, *Mexicella mexicana*, *Olenellus puertoblancoensis*, *Onchocephalus mexicanus* y *Sombrierella mexicana*, entre otras (figuras 5A-H). Aparte de éstas, las rocas cámbricas de Sonora también están distribuidas en la parte central, oriental y norte del estado (figura 2B), donde se distinguen otras formaciones (figura 6A) cuya fauna fósil es igualmente abundante.

Durante el resto de la Era Paleozoica los mares someros y tropicales continuaron cubriendo intermitentemente a la parte norte y central de Sonora, pero hacia la parte sur del estado éstos se volvían de aguas profundas. Sin embargo, las rocas que en ellos se formaron afloran en pocos lugares, aunque localmente alcanzan grandes espesores (figuras 2B y 3). Al Período Ordovícico lo representan rocas sedimentarias que en la parte central del estado alcanzan hasta 3 500 m de espesor y cuyos fósiles indican que se formaron entre ~480 y ~450 Ma (figura 3). En los fondos de los mares someros de ese tiempo se depositaron sedimentos ricos en carbonato de calcio que formaron roca caliza y los fósiles más comunes en ellas son braquiópodos, trilobites, conodontos, gasterópodos, cefalópodos, briozoarios y crinoides (Peiffer-Rangin *et al.*, 1980; Almazán-Vázquez *et al.*, 2006). Las formaciones Las Norias y Pozo Nuevo en los alrededores de Hermosillo (Vega-Granillo y Araux-Sánchez, 1987; Page *et al.*, 2003; Almazán-Vázquez *et al.*, 2006) son unidades distintivas que representan a las rocas del Ordovícico Temprano (figura 3). Hacia la parte sur del estado los mares ordovícicos fueron profundos y los sedimentos que en ellos se depositaron están representados por rocas de las formaciones El Quemado, El Mezquite, El Pedernal, El Yaqui (figura 6B) y la Caliza Torote que consisten de lutitas negras, pedernal, calizas y areniscas. Estas unidades tienen una fauna fósil de braquiópodos, graptolites, conodontos y radiolarios, típica de ambientes marinos de aguas profundas (Poole *et al.*, 2000 y 2005). A finales del Período Ordoví-

co (~450 Ma) los mares se retiraron durante casi 30 Ma y regresaron de nuevo a finales del período Silúrico, tiempo durante el cual se depositaron las rocas de la formación Dolomita San Antonio (Poole *et al.*, 2000). En esos mares existieron arrecifes con abundantes corales cuyos fósiles se han preservado en las rocas de esa unidad. No obstante, las rocas sedimentarias que representan a este período solamente se conocen en la localidad de Sierra López (Rancho Placeritos, ubicado a 40 km al noroeste de Hermosillo) y su escasa presencia se debe a que después de su depositación los mares se retiraron de nuevo y la región quedó expuesta a la erosión durante otro largo período de ~30 millones de años (figura 3).

De finales del período Silúrico y hasta finales del Devónico Medio la región de Sonora permaneció emergida y no se tiene registro de los eventos que entonces ocurrieron. Sin embargo, durante el Devónico Tardío los mares volvieron a invadir todo el estado y la sedimentación se reanudó en la cuenca marina. En la parte norte y central de Sonora se conocen varias localidades donde las rocas de esta edad están compuestas principalmente por rocas carbonatadas (calizas y dolomitas), areniscas y lutitas que alcanzan hasta 400 m de espesor. En la región de Cananea-Agua Prieta aflora la Caliza Martín (figura 6A) que contiene una abundante fauna fósil arrecifal de corales coloniales, estromatopóridos, braquiópodos y briozoarios (González-León, 1986). En la región de Caborca se tiene a la formación Murciélagos (Brunner, 1975) y en el centro de Sonora a las formaciones San Miguel (Poole *et al.*, 2000) y La Sata (Almazán-Vázquez, 1989). Simultáneamente, en la parte sur de Sonora ocurría sedimentación en un ambiente de mar profundo donde se acumulaban sedimentos como pedernal, lutita, limolita, arenisca, caliza y barrita que ahora están representados por la formación Los Pozos (Poole *et al.*, 2005) que tiene fósiles de graptolites, radiolarios, braquiópodos y conodontos.

Los mares se retiraron a finales del período Devónico para retornar y permanecer durante todo el Misisípico Temprano, tiempo durante el cual se de-

positó una columna de rocas sedimentarias de casi 800 m de espesor dominada por calizas (figura 3). Estos mares tropicales y someros de la parte central y norte del estado estaban poblados por abundantes organismos como corales y crinoides que formaban arrecifes, y por braquiópodos, esponjas, briozoarios y foraminíferos, entre los que predominaban los fusulínidos. La formación Escabrosa es unidad típica que representa la sedimentación marina formada durante el período Misisípico en el norte de Sonora (figura 6A) y la formación Placeritos la representa en el centro del estado (figura 3). Hacia la parte sur del estado continuó predominando la sedimentación marina profunda y las rocas Misisípicas están representadas por la parte superior de la formación Los Pozos y por la Caliza Cerro Tasajo. La litología de lutita, pedernal, limolita, arenisca, caliza y barita y los fósiles de radiolarios y conodontos de estas últimas unidades indican que fueron depositadas por grandes abanicos submarinos dentro de un mar profundo (Poole *et al.*, 2005).

Durante el Misisípico medio empezó una colisión o choque tectónico entre la parte sur del continente Laurentia y la parte norte de Gondwana que condujo a la formación del nuevo supercontinente llamado Pangea (figura 1E). Esta colisión produjo que las rocas paleozoicas previamente formadas en la parte sur de Sonora se levantaran, deformaran, en parte se erosionaran y que los mares se retiraran de la región durante ese tiempo. Sin embargo, la presencia marina se reanudó a finales del período Misisípico y principios del Pensilvánico y continuó intermitentemente hasta principios del período Pérmico (hasta ~280 Ma). En la parte central y norte de Sonora estos fueron de nuevo mares tropicales someros, de aguas claras y templadas que depositaron sedimentos carbonatados (caliza) y en menor proporción lodosos (lutita) y arenosos (arenisca), los cuales actualmente forman un paquete de rocas sedimentarias de aproximadamente 1 500 m de espesor dentro del cual se distinguen a las formaciones Horquilla, Earp, Colina, Concha y Epitaph en la parte noreste de Sonora (figura 6A). En esos mares florecieron los arreci-

fes formados por crinoides y corales y vivían abundantes braquiópodos, briozoarios, gasterópodos, foraminíferos y algas. En la región de Caborca (sierra del Álamo) se tiene a la formación Monos, del Pérmico Medio, cuyas rocas calizas tienen abundantes fósiles, entre los que destaca la presencia de braquiópodos (figuras 5I-L), corales y fusulínidos. En la parte sur de Sonora la sedimentación contemporánea ocurría en una cuenca marina de aguas profundas donde se depositaron lutitas, limolitas, areniscas, conglomerados, pedernal, barita y caliza con una fauna fósil de radiolarios, conodontos y fusulínidos. Estos sedimentos forman actualmente una pila de rocas de más de 2 000 m de espesor que se conoce como formaciones Rancho Nuevo y Mina México, las cuales se depositaron durante la deformación tectónica que empezó en el Misisípico Medio y terminó hasta el Pérmico Tardío (Poole *et al.*, 2005).

ERA MESOZOICA

Posterior al choque entre los continentes Laurentia y Gondwana, éstos continuaron unidos formando el supercontinente Pangea que empezó de nuevo a disgregarse durante el período Jurásico (figura 1F). Al principio de la Era Mesozoica la región continuó recibiendo incursiones marinas durante todo el período Triásico y hasta principios del Jurásico. Sin embargo, desde el comienzo del Mesozoico (hace 251 millones de años) la geografía de Sonora empezó a cambiar y, de ser la tierra de relativa estabilidad tectónica y con notable presencia marina de la Era Paleozoica, pasó a ser el lugar donde la actividad tectónica y magmática empezó a predominar como fenómeno geológico. Este cambio determinó también un cambio en la geografía, climas y el tipo de organismos que poblaron la región.

El mar triásico cubrió a Sonora de 250 a ~180 millones de años y en sus fondos depositó una pila de sedimentos que ahora están representados por las rocas del Grupo El Antimonio (González-León *et al.*, 2005) que alcanza un espesor de >3 000 m. Este mar alternó entre niveles de aguas someras y

profundas donde vivieron abundantes organismos como amonitas, bivalvos (figuras 7A-K), braquiópodos, corales, esponjas, gasterópodos, crinoideos y hasta grandes reptiles marinos como los ictiosaurios (Callaway y Massare, 1989).

Durante ese mismo tiempo, en la parte central del estado se desarrollaban grandes deltas, ríos, lagos y pantanos en lugares costeros del mar triásico, los cuales depositaron gruesos espesores (>3 000 m) de sedimentos del Grupo Barranca. El Grupo Barranca (Alencáster, 1961a y 1961b) está compuesto por las formaciones Arrayanes, Santa Clara y Coyotes que consisten de areniscas, carbón, lutitas y conglomerados. En esos lugares tropicales floreció una abundante vegetación cuyos restos atrapados en los sedimentos pantanosos de la formación Santa Clara constituyeron los importantes depósitos de carbón y grafito de Sonora. Sus restos mejor preservados los encontramos como hojas, tallos y frutos que atestiguan la diversidad florística que pobló a los bosques del período Triásico en Sonora (figura 8).

Durante el Jurásico Medio (entre 180 y 160 Ma) la región se vio sujeta a una fuerte actividad tectónica que produjo volcanismo y levantamiento, lo que hizo que los mares se retiraran de ella. Fue un tiempo donde predominaron los ambientes continentales en los que se acumularon enormes pilas de rocas ígneas producto de la erupción de varios centros volcánicos, así como sedimentos formados por procesos fluviales. Localmente también existieron desiertos donde se acumularon arenas en dunas eólicas. Las rocas producto de estos eventos afloran ampliamente en las serranías de la parte norte de Sonora, desde Sonoita hasta Nacoziari, y localmente se les conoce con varios nombres, como la formación Elenita (figuras 2 y 3) en las sierras alrededor de Cananea. Su edad Jurásica Media se ha determinado por numerosos fechamientos isotópicos de estas rocas (por ejemplo, Anderson *et al.*, 2005).

El tiempo Jurásico Medio-Tardío fue cuando el supercontinente Pangea empezó a separarse en las dos grandes masas continentales de Laurencia y Gondwana (figura 1E). Su separación dio inicio a la formación del Golfo de México y del océano

Atlántico del norte y como parte de este proceso las aguas tropicales del mar Tethys (figura 1F) llegaron hasta Sonora durante el Jurásico Tardío (~160 Ma) (Villaseñor *et al.*, 2005). Esta nueva invasión marina trajo además una rica diversidad de organismos (figura 7), que dominó la biota marina hasta el Cretácico Temprano. Dicha incursión marina ocurrió a lo largo de cuencas o depresiones producidas por fallamiento que estuvo probablemente relacionado a la apertura del Golfo de México (Dickinson *et al.*, 1986) y en ellas se acumularon sedimentos tanto de origen continental como marinos. En la región de Cananea-Agua Prieta las primeras acumulaciones las produjeron ríos y abanicos aluviales que depositaron conglomerados, areniscas y rocas volcánicas del Conglomerado Glance, mientras que en la región central de Sonora ocurrió acumulación de sedimentos marinos de la Formación Cucurpe (figuras 2, 3 y 6C). Estos últimos corresponden a lutitas y areniscas en las cuales se encuentran abundantes fósiles de amonitas, bivalvos y belemnitas, indicios de la abundante fauna de esos mares (Villaseñor *et al.*, 2005). Hace aproximadamente 145 Ma los mares se retiraron de Sonora debido probablemente a un evento de deformación tectónica que afectó a la región, pero una nueva y última incursión marina que inició hacia ~130 Ma se prolongó, aunque intermitentemente, por treinta millones de años más, dando origen a los depósitos sedimentarios del Grupo Bisbee a inicios del período Cretácico (figura 3). En ese tiempo se depositaron lutitas, areniscas y calizas de la formación Mural (figuras 3 y 6D) dentro de un mar somero que cubría el norte de Sonora y que hacia el oriente del estado se volvía más profundo y depositaba allí las rocas del grupo Lampazos. El mar somero formaba una amplia plataforma donde se desarrollaban arrecifes de corales y rudistas (género de bivalvos) con una fauna asociada de gasterópodos, crinoideos, equinodermos, briozoarios y foraminíferos (González-León *et al.*, 2008).

Esta última invasión marina en territorio de Sonora se terminó hace ~100 Ma, casi al tiempo que empezaba el Cretácico Tardío y se debió al inicio de una nueva fase de actividad tectónica que mo-

dificó drásticamente el paisaje preexistente (Rangin, 1986). Este evento tectónico levantó y deformó (por plegamiento y fallamiento) a las rocas preexistentes y las erigió en cordilleras y montañas. La elevación del relieve fue también el resultado de una profusa actividad volcánica contemporánea que abarcó todo el estado de Sonora (figura 2D). Así, durante el Cretácico Tardío y en los tiempos cuando el globo terrestre estaba afectado por climas calientes y húmedos producto de un efecto invernadero que lo envolvía, Sonora pasó a ser tierra montañosa con abundantes volcanes, enormes ríos y extensos lagos. Uno de estos sistemas lacustres fue el que se desarrolló en la región de Naco-Fronteras, en la parte noreste de Sonora, dentro de la cuenca de Cabullona.

Entre los ~80 y 70 Ma la cuenca de Cabullona fue una región de vegetación profusa y grandes lagos donde desembocaban ríos y deltas cargados de abundantes sedimentos. Las rocas producto de estos procesos sedimentarios afloran allí actualmente formando un paquete de >2 500 m de espesor de lutitas, areniscas y conglomerados y al cual llamamos grupo Cabullona (figuras 6E y F) (Taliaferro, 1933; González-León y Lawton, 1995). En esos ambientes lacustres y fluviales vivieron dinosaurios, cocodrilos, tortugas y peces cuyos restos fósiles se encuentran actualmente en las formaciones del grupo Cabullona (figuras 3 y 9) (Lucas *et al.*, 1995). Los restos de dinosaurios consisten de abundantes vértebras, dientes y huesos de hadrosaurios, ceratópidos y terópodos e incluyen representantes de los temibles Tiranosaurios. Tanto los dinosaurios herbívoros como los carnívoros alcanzaban tamaños gigantescos y los de Sonora fueron de los últimos representantes de dicho grupo en la Tierra, ya que su extinción ocurrió hace 65 Ma, justo al límite entre los períodos Cretácico y Cenozoico.

El volcanismo del Cretácico Tardío se continuó hasta principios de la Era Cenozoica y las rocas formadas por este evento, que llamamos Formación Mesa y Formación Tarahumara (Valentine, 1936; Wilson y Rocha, 1949), están ampliamente distribuidas en casi todas las sierras de Sonora, don-

de tienen espesores de >2 000 m. Localmente éstas incluyen niveles con plantas fósiles que indican que dentro de la cadena volcánica coexistían lagos (Chacón-Baca *et al.*, 2002; Hernández-Castillo y Cevallos-Ferriz, 1999). Todos estos elementos indican que durante el Cretácico Tardío la región estuvo afectada por un clima tropical, caliente y lluvioso, donde florecía una abundante vegetación que soportaba la existencia de una rica fauna acuática y terrestre.

ERA CENOZOICA

La actividad volcánica que empezó en Sonora hace aproximadamente 100 Ma disminuyó hace ~50 Ma, ya a finales de la época Paleocénica, en la Era Cenozoica. Sin embargo, las enormes cámaras magmáticas que alimentaron al volcanismo durante 50 Ma continuaron enfriándose a varios kilómetros debajo de la superficie terrestre y las últimas terminaron de hacerlo hace ~40 Ma (Valencia-Moreno *et al.*, 2006a). El magma de esas cámaras formó rocas graníticas, pero antes, y asociado a tal actividad magmática, se formaron los principales yacimientos minerales de Sonora. Los fluidos hidrotermales provenientes de las cámaras magmáticas eran ricos en elementos minerales y, mientras migraban, encontraron como los sitios más apropiados para descargar sus componentes metálicos a las rocas de la formación Tarahumara (figura 3). Cuando eso ocurrió y llegaron a acumularse en gran cantidad, dieron origen a depósitos minerales importantes que, tiempo después, al quedar expuestos en la superficie terrestre o cerca de ella, el hombre los minaría para su beneficio.

Actualmente algunas de las cámaras magmáticas que han quedado expuestas por levantamientos tectónicos y por la erosión forman grandes sierras de rocas graníticas, como es el caso de las sierras de Baviácora-Aconchi, donde geológicamente se les conocen como Batolitos de Aconchi y El Jiralito (Roldán Quintana, 1991) (figura 6H). La mayor parte de los yacimientos con mineralización asociada de Cobre, Plata, Plomo, Zinc, Molibde-

no, Tungsteno y Oro de Sonora (por ejemplo las grandes minas de Cananea y La Caridad) tienen edades entre 60 y 50 Ma y fueron también formados durante este gran evento magmático (Valencia-Moreno *et al.*, 2006b).

La época Eocénica que sigue a la Paleocénica no tiene un registro geológico significativo en Sonora. Al parecer fue un tiempo durante el cual prevaleció la actividad tectónica que mantuvo a la región levantada y sus rocas sujetas a la erosión y quizá es durante este tiempo que fueron expuestas las cámaras magmáticas mencionadas. Sin embargo, al iniciar la Época Oligocénica comenzó otro período de actividad volcánica de la mayor importancia que se extendió por toda la costa del Pacífico mexicano. Este evento, y los que posteriormente siguieron hasta el presente, son los que modelaron el panorama actual de Sonora y, aunque todavía pertenecen al Cenozoico, se discuten por separado en el siguiente apartado.

EVENTOS GEOLÓGICOS RECIENTES Y EL PANORAMA ACTUAL

La morfología actual de Sonora (figura 10) está definida por varias provincias fisiográficas que, según Raisz (1964), incluye las siguientes del oriente al poniente: la provincia de la Sierra Madre Occidental, la de Sierras Alargadas, la de Sierras Enterradas, la del Desierto y la de los Deltas. Antes, Robert E. King, geólogo explorador y pionero de la geología de Sonora, en 1939 también había advertido que la fisiografía del estado está formada por las provincias de la Sierra Madre Occidental con sus subprovincias de Mesetas y de Barrancas, la de Sierras y Valles Paralelos y la del Desierto. Los eventos geológicos y bióticos que contribuyeron al modelado de este paisaje y que se describen de forma breve, de más antiguo a más joven, son los siguientes: 1) la formación de la Sierra Madre Occidental, 2) el evento de fallamiento de Sierras y Valles Paralelos, 3) la formación del Golfo de California, 4) el volcanismo de la región del Pinacate y de otros valles del estado, 5) la formación del Gran

Desierto, 6) la presencia de la megafauna, 7) los primeros humanos en la región y, 8) la sismicidad activa.

La Sierra Madre Occidental y la Provincia de Sierras y Valles Paralelos

Los elementos principales del relieve actual de Sonora fueron determinados a partir del Oligoceno, hace aproximadamente 33 Ma, cuando, adyacente a la costa del Pacífico mexicano, empezó una época de intenso volcanismo continental que formó una de las provincias volcánicas más grandes de la Tierra. Este evento se prolongó hasta aproximadamente los 27 Ma y, pese a que fue de corta duración, produjo tal acumulación de rocas volcánicas que llegaron a formar la elevada meseta de la actual Sierra Madre Occidental (Ferrari *et al.*, 2005). Aunque en Sonora dicho evento volcánico cubrió gran parte del estado, fue en su región oriental donde se centró con mayor intensidad y donde sus lavas y productos volcánicos alcanzaron espesores de hasta 1 000 m (Cochemé y Demant, 1991). El volcanismo de esa época fue de carácter explosivo, tal como lo prueban las calderas de hasta 20 km de diámetro que actualmente se distinguen en la Sierra Madre Occidental (por ejemplo las de Tepoca y Yécora en Sonora y la de Tomóchic en Chihuahua), que fueron algunos de los centros de las erupciones volcánicas. Las rocas que forman esta meseta volcánica han permanecido elevadas y en posición casi horizontal desde su formación (figuras 6G y 14B) debido al limitado efecto que les ha causado el fallamiento más reciente, aunque no han podido escapar al poder erosivo del agua que le ha cavado cañones profundos. Las altitudes en la Sierra Madre Occidental rondan los dos mil metros sobre el nivel del mar (msnm), pero algunas sierras del noreste del estado, como las de San Luis, Hachita Hueca y El Palomo alcanzan entre 2500 y 2700 msnm (figura 10).

Casi al finalizar el evento volcánico que formó a la Sierra Madre Occidental, la región de Sonora estuvo sujeta a un evento de fallamiento extensional que produjo bloques levantados y hundidos

alargados en dirección norte-sur. Dicho evento, que es conocido como de Sierras y Valles Paralelos, empezó a los ~27 Ma y terminó a los ~10 Ma (Stewart y Roldán-Quintana, 1994). Los bloques levantados formaron las actuales sierras de Sonora, mientras que los bloques hundidos formaron los valles principales (figura 10) a lo largo de los cuales empezaron a desarrollarse los ríos más importantes. Las rocas expuestas en los bloques levantados fueron erosionadas y sus productos, gravas y arenas, fueron transportados hacia los valles por corrientes de aguas donde fueron depositadas en abanicos aluviales, ríos y ocasionalmente en lagos. Este proceso acumuló importantes paquetes de sedimentos que, al consolidarse, formaron conglomerados, areniscas y limolitas de hasta 2 km de espesor y a los que se les conoce con el nombre de Formación Báucarit (King, 1939; McDowell *et al.*, 1997) (figura 6I).

Golfo de California

Casi de forma contemporánea con el evento de Sierras y Valles Paralelos, entre los 23 y los 6 Ma, y a lo largo de lo que actualmente es la costa de Sonora y la costa oriental de Baja California, continuó ocurriendo volcanismo (Mora-Álvarez y McDowell, 2000). Dicha actividad magmática anunciaba la próxima formación del Golfo de California. Este volcanismo se distribuyó en ambas regiones cuando formaban una sola entidad, ya que en ese tiempo la Península estaba unida al continente y el Golfo de California todavía no se individualizaba. En Sonora, las rocas volcánicas de este evento se localizan principalmente en la región costera ubicada entre Guaymas y Puerto Peñasco y en la Isla del Tiburón, donde forman algunas serranías.

La formación del Golfo de California empezó hacia los 12 Ma cuando una cuenca empezó a abrirse en su parte sur debido a la fragmentación de la corteza continental, lo que causó su adelgazamiento y la formación allí de una dorsal oceánica (figura 10) (las dorsales son regiones de los fondos marinos donde ocurre separación entre placas tectónicas y crecimiento de nueva corteza terrestre debido a la

continua actividad volcánica que las caracteriza; estas se presentan desplazadas por fallas transformantes). Sin embargo, no fue sino hasta los 6 Ma cuando la dorsal se extendió hacia el norte dando lugar a la apertura continental entre la Isla del Tiburón y el Delta del Río Colorado (Oskin y Stock, 2003). En este proceso de apertura y separación, Baja California se convirtió en una península, mientras que la depresión fue invadida por aguas del océano Pacífico para formar el Golfo de California. La separación de la Península, que a la fecha se ha distanciado (~300 km) de Sonora, aún continúa a razón de ~5 cm por año y la dorsal activa localizada en el fondo del Golfo ha avanzado hasta cerca de la región del delta del Río Colorado, donde forma la Cuenca Wagner (figura 10). Allí, la dorsal termina y es reemplazada por fallas transformantes que se extienden en dirección noroeste hasta la bahía de San Francisco, en California, formando la gran zona de fallamiento activo conocida como falla de San Andrés; la falla Cerro Prieto en Sonora es una falla que pertenece a ese sistema (figura 10).

Con la apertura del Golfo de California los ríos que corrían por los valles de Sonora y que se iniciaron durante el evento de Sierras y Valles Paralelos empezaron a fluir hacia esa depresión marina depositando sus sedimentos en deltas de la región costera. Al consolidarse, dichos sedimentos se convirtieron en los reservorios de los importantes acuíferos de la región. Del mismo modo, los sedimentos que dichos ríos (como el Asunción –o Magdalena–, Sonora, Yaqui, Mayo y otros de menor magnitud) han continuado transportado desde entonces provienen de la erosión de las topografías altas del estado, proceso que lentamente ha rebajado y modelado al actual paisaje sonorenses.

El delta más grande de Sonora es el formado por el río Colorado en la parte norte del Golfo. Éste empezó a formarse entre hace ~5 y 4 Ma (Winker y Kidwell, 1986) y es todavía sitio de acumulación de sedimentos. El espesor del paquete sedimentario que allí se ha depositado es de casi 5.5 km y consiste de lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados (Pacheco *et al.*, 2006).

El Golfo de California continúa siendo una región tectónicamente activa y el fallamiento reciente ha levantado, en algunas regiones, terrazas marinas de aproximadamente cien mil años de edad (Ortlieb, 1991). En la costa de Sonora, sin embargo, se observan terrazas marinas emergidas que exponen restos de organismos marinos bien preservados (figuras 11A y 11B) y cuyo levantamiento fue producido por cambios globales en el nivel del mar (Ortlieb, 1991).

Actividad volcánica reciente y el Gran Desierto de Sonora

En Sonora ha ocurrido actividad volcánica reciente, principalmente en el campo volcánico El Pinacate y en el campo volcánico de Moctezuma. Otros derrames volcánicos de menor importancia se ubican en los valles de Sonora, como en el de San Bernardino en la parte norte del estado (figura 10). La actividad volcánica en el campo El Pinacate, localizado en la parte norte del Golfo de California, se estima que empezó entre 3 y 4 Ma, aunque la edad más antigua que se ha fechado de sus lavas es de ~ 1.2 Ma (Gutmann, 2002 y J. Gutmann, com. per., enero, 2007). El volcanismo de dicho campo es de carácter basáltico y los derrames de sus lavas cubren un área de más de 1 500 km²; tiene ~ 400 conos volcánicos de tamaño pequeño pero sólo once de ellos poseen cráteres de tamaño considerable. De estas estructuras, el cráter Elegante es el de mayor tamaño, ya que mide 1 600 m de diámetro y 244 m de profundidad (figura 12 A). Lo siguen en tamaño los cráteres McDougal, Cerro Colorado, Sykes y Molina (figura 12). Los derrames volcánicos más antiguos del cráter Elegante tienen una edad de ~ 32 600 años (Gutmann, 2006) y los depósitos sedimentarios de un lago que existió en su fondo tienen edades entre ~ 13 000 a ~ 17 000 años (en Gutmann, 1976). Las rocas volcánicas más jóvenes que en él se han fechado provienen del cerro La Laja con edad de 12 400 años (Gutmann *et al.*, 2000). De esta manera, el volcanismo en el campo El Pinacate está actualmente activo y su origen se relaciona a los procesos tectó-

nicos activos que están conduciendo a la separación de la Península de Baja California del continente americano.

En el valle de Moctezuma, entre el poblado del mismo nombre y el de Tepache (figura 10), se presentan derrames basálticos en posición horizontal, los cuales sobreyacen a rocas de la formación Báucarit. Éstos fueron producto de actividad volcánica relacionada a fallamiento reciente que ocurre en la margen occidental del valle (Paz-Moreno, 1985) y son contemporáneos con el volcanismo de El Pinacate. Sin embargo, y a diferencia de este último, el volcanismo de Moctezuma-Tepache no fue producto de actividad magmática explosiva, sino que los derrames se originaron a través de fisuras de la corteza terrestre por las que el magma fluyó hacia la superficie. En este campo sólo se distinguen cinco conos volcánicos de poca altitud que produjeron lavas y que se localizan en los cerros Villalobos, Mogote de Corrales, El Barril, Los Fierros y Cerro Blanco (Paz-Moreno *et al.*, 2003). Fechamientos isotópicos realizadas en las rocas volcánicas más antiguas de este campo indican que la actividad empezó alrededor de 1.7 Ma y continuaba todavía hasta hace ~ 300 000 años (Paz-Moreno *et al.*, 2003; Mead *et al.*, 2006).

El Gran Desierto de Sonora es el campo de dunas activas más grande de Norteamérica y se localiza al poniente del campo El Pinacate, donde cubre un área aproximada de 5 700 km² (Blount y Lancaster, 1990). Gran parte de las arenas que forman sus dunas fueron transportadas por los sistemas de vientos que afectan la región y provienen de los sedimentos depositados en el delta por el río Colorado, de las playas del Golfo y, en menor proporción, son derivadas del campo volcánico El Pinacate. El viento que transporta la arena es también el agente de formación de las dunas y llega de las siguientes direcciones: durante el invierno proviene del noroeste, durante la primavera llega del oeste y los vientos del verano llegan del suroeste. En la parte oriental del Gran Desierto existe un campo de dunas cretónicas con alturas de entre 10 y 80 m que están formadas por granos bien redondeados de arena de tamaño fino a grueso, cons-

tituidos de cuarzo y en menor proporción de carbonatos y plagioclasas. Por otra parte, en la parte occidental del desierto se desarrollan dunas en forma de estrella con alturas de entre 80 y 150 m (figura 11C).

El Gran Desierto empezó a formarse durante el Pleistoceno Medio (hace menos de 1.0 Ma), ya que sus dunas más antiguas sobreyacen a sedimentos del Delta del Río Colorado, donde se han encontrado restos de mamíferos de esa edad (por ejemplo, osos hormigueros; Shaw y McDonald, 1987).

La megafauna y los primeros humanos

Durante el último millón de años (del Pleistoceno Medio al Tardío) la Tierra se vio afectada por no menos de diez grandes glaciaciones (períodos glaciales) de aproximadamente cien mil años de duración cada una, las cuales se alternaron con épocas de climas más cálidos, o períodos interglaciales, de aproximadamente la misma duración. La más reciente de esas glaciaciones, a la cual se le conoce con el nombre de Wisconsin, empezó hace ~100 000 años y terminó con el retiro de los últimos glaciales (que llegaron a cubrir hasta la parte central de Estados Unidos) hace aproximadamente diez mil años. Así como el clima, durante ese tiempo la fauna en Norteamérica fue diferente a la actual. En ese entonces existían grandes mamíferos como los mamuts, mastodontes, gomfoterios y gliptodontes, entre otros, por lo que se le ha dado el nombre de megafauna. Existían también bisontes, camellos, llamas, tigres dientes de sable, caballos, osos hormigueros, armadillos gigantes y tapires. En Sonora se han encontrado restos de megafauna asociada con fauna menor en las localidades del golfo de Santa Clara (Shaw *et al.*, 2005), Rancho La Brisca (Cucurpe) (Van Devender *et al.*, 1985) y en Térapa (Moctezuma) (Mead *et al.*, 2006) (figura 10), de donde se han colectado restos de camellos, bisontes, gomfoterios, mamuts, caballos, tigres diente de sable, armadillos, milodontes, antílopes, anfibios, peces, reptiles y aves. Esta fauna se ha encontrado en sedimentos que indican ambientes de ríos y lagos con climas cálidos

que indicaría que prosperó durante períodos interglaciares. Su edad se considera del Pleistoceno Medio al Tardío, y la de Moctezuma se constriñe entre los ~500,000 y ~300,000 años (Mead *et al.*, 2006). Algunos restos más escasos de megafauna han sido encontrados en otros lugares aislados de Sonora (figura 13).

En tiempos más recientes, pero todavía en coexistencia con la megafauna, llegaron a América los primeros humanos provenientes de Asia. Éstos fueron los clovis cazadores que entraron por el estrecho de Bering (Beringia) hace ~13,500 años. Lo hicieron aprovechando un puente terrestre que se formó entre Siberia y Alaska a finales de la glaciación Wisconsin. En ese tiempo, el nivel del mar se encontraba hasta 100 m por debajo del actual, debido a que parte del agua de los océanos se acumulaba en glaciares. Antes de los clovis, el mismo viaje migratorio ya lo habían realizado varias especies de animales nativos de Asia a las cuales siguieron los humanos para alimentarse de ellas. En oposición, especies nativas de América como los caballos y camellos migraron hacia el viejo continente por los mismos puentes terrestres. También, durante la glaciación Wisconsin y para hace ~40 000 años los humanos modernos (*Homo sapiens sapiens*) ya se habían individualizado. Durante el breve período comprendido entre los 11 500 y 10 000 años que siguió a la entrada de los clovis, en Norteamérica se extinguieron 15 géneros de la megafauna. Esto ocurrió posiblemente debido a la acción depredadora de esos habitantes o quizá por el cambio climático caracterizado por los climas más cálidos y secos en los que todavía vivimos y que ocurrió a la entrada de la nueva época interglacial. Dicha extinción incluyó a los mamuts, mastodontes, gomfoterios (con el género *Cuveronius*; figura 13), megaterios, esmilodontes (*Smilodon fatalis*) y gliptodontes, así como a los caballos, camellos, osos gigantes (de tamaños mayores al actual Grizzly), leones americano (*Panthera leo atrox*), lobo gigante (*Canis dirus*) y algunas especies de aves gigantes. Los caballos no regresarían al continente sino hasta que los españoles los trajeron de nuevo durante la conquista de América.

Los clovis parecen haber poblado amplias regiones de Norteamérica, pero en el sureste del estado de Arizona, muy cerca de la frontera con el de Sonora, se han encontrado varios sitios con abundantes huesos de mamuts y de otra fauna asociados con puntas de flechas y herramientas hechas por esos cazadores. En Sonora se han encontrado varios sitios con puntas de flecha (Montané-Martí, 1987) de formas típicas clovis, pero el sitio conocido como El Bajío (figura 10), localizado a ~60 km al noreste de Hermosillo, es el mejor conocido y el que ha proporcionado una cantidad importante de utensilios (Montané-Martí, 1987). De acuerdo a Sánchez (2001), este lugar es posiblemente el sitio clovis de mayor tamaño en Norteamérica.

A la entrada del Holoceno (que comprende los últimos 11 800 años), con el desarrollo de un clima más parecido al actual, y ya sin mucha de la fauna típica de esos tiempos, los clovis de la región de Sonora-Arizona empezaron a reunirse en pequeños grupos y, para la mitad del primer milenio, antes de la Era Cristiana (hace 2 500 años) empezaron a practicar la agricultura; cultivaban maíz que habían adquirido de las culturas mesoamericanas, así como frijol y calabaza (Reid y Whittlesey, 1997).

Sismicidad activa

En Sonora existen dos provincias con sismicidad activa. La primera se localiza en el fondo del Golfo de California, donde a diario se registra sismicidad de baja intensidad asociada a la dorsal oceánica que recorre su parte central, así como a las fallas transformantes que son parte del sistema que continúa conduciendo la apertura del Golfo (figura 10). Sin embargo, la sismicidad que ocurre en las fallas continentales, asociadas y pertenecientes al sistema San Andrés, tal como la de Cerro Prieto (figura 10), llega a ser de mayor magnitud, aunque de menor frecuencia que la del fondo del Golfo.

Otra región con sismicidad activa ocurre en la región noreste del estado, en el valle San Bernardino, asociada a la falla Pitaycachi o Batepito (figu-

ras 10 y 14). El 3 de mayo de 1887 ocurrió allí el epicentro de un sismo de magnitud 7.5 que causó grandes daños a las poblaciones de la región y sus efectos se sintieron hasta el centro del país. El sismo causó la muerte de 42 personas en el pueblo de Bavispe (Goodfellow, 1887) y dañó severamente a poblados cercanos como Fronteras, Nácori Chico, Bacadéhuachi, Granados, Huásabas, Villa Hidalgo, Moctezuma, Sahuaripa y hasta Janos en Chihuahua. Este sismo es, aparentemente, el de mayor magnitud que haya afectado a la Provincia de Sierras y Valles Paralelos (Suter y Contreras, 2002), la cual abarca desde el suroeste de Estados Unidos hasta la parte central de México. El temblor ocurrió cuando la falla Pitaycachi de tipo normal rompió produciendo una larga traza que todavía puede observarse en el terreno (figura 14). Dicha traza tiene una longitud de 101 km de largo y un salto vertical máximo de 5.1 m (Suter y Contreras, 2002). De esta manera, la falla Pitaycachi es parte del fallamiento que todavía ocurre asociado a la Provincia de Sierras y Valles Paralelos y a la apertura del Golfo de California.

La sismicidad ha continuado en la región del valle San Bernardino y en las áreas adyacentes. El segundo temblor de importancia en dicho valle ocurrió el 26 de mayo de 1907 con magnitud 5.2, además de que frecuentemente se presenta microsismicidad. En la región de Fronteras y al oeste de la falla Pitaycachi se ha presentado sismicidad entre los años de 1908 y 1989 asociada con fallas de tipo normal; el evento de mayor importancia en esa área sucedió el 25 de mayo de 1989 con magnitud de 4.2. Igualmente, en la región de Huásabas-Granados se han presentado sismos importantes como el del 17 de mayo de 1913 ($M=5$), el del 18 de diciembre de 1923 ($M=5.7$) y una serie de temblores con intensidades menor a 4 que se dieron en 1913, 1927 y 1993 (Suter, 2001). Otros sismos históricamente documentados han ocurrido como eventos aislados en las regiones de los valles de Sahuaripa, Guaymas, Nacozari, Bacadéhuachi y Magdalena (Suter, 2006), como el de magnitud de 4.5 ocurrido el 16 de octubre de 1999 en esta última localidad.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a Fred Croxen, Jim Gutman, Whitey Hagadorn, Hannes Löser, Mark McMennamin, Barney Poole, Jaime Roldán Quintana, Francisco Sour Tovar y Max Suter, quienes amablemente proporcionaron material fotográfico para las ilustraciones en este trabajo. Igualmente aprecio los permisos otorgados por el Dr. Roger Thomas a nombre de la Paleontological Society, por el Dr. Thomas Jorstad del Smithsonian National Museum of Natural History y la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas para usar algunas de las imágenes de fósiles aquí publicadas. Agradezco también a los doctores Luca Ferrari y Dante Morán Zenteno por sus revisiones al trabajo, las cuales fueron de gran ayuda para mejorarlo.

LITERATURA CITADA

- AGUILERA, J.G. 1888. *Estudios de los fenómenos sísmicos del 3 de mayo de 1887*. Anales del Ministerio de Fomento de la República Mexicana, vol. 10: 5-56.
- ALENCÁSTER, G. 1961a. Estratigrafía del Triásico Superior de la parte central del estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Paleontología Mexicana* 11: 1-18.
- ALENCÁSTER, G. 1961b. Fauna fósil de la formación Santa Clara (Cárnico) del estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Paleontología Mexicana* 11: 19-45.
- ALMAZÁN-VÁZQUEZ, E. 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi, en la región centro-oriental del estado de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista* 8: 58-66.
- ALMAZÁN-VÁZQUEZ, E., B.E. BUITRÓN-SÁNCHEZ y O. FRANCO-VEGA. 2006. Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23, 1: 23-38.
- ANDERSON, T.H., J.L. RODRÍGUEZ-CASTAÑEDA y L.T. SILVER. 2005. Jurassic Rocks in Sonora, Mexico: Relations to the Mojave-Sonora Megashield and its Inferred Northwestward Extension. En T.H. Anderson, J.A. Nourse, J.W. McKee y M.B. Steiner, eds. *The Mojave-Sonora Megashield Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*. Geological Society of America Special Paper 393: 51-95.
- ANDERSON, T.H. y L.T. SILVER. 2005. The Mojave-Sonora Megashield. Field and Analytical Studies Leading to the Conception and Evolution of the Hypothesis. En: T.H. Anderson, J.A. Nourse, J.W. McKee y M.B. Steiner, eds. *The Mojave-Sonora Megashield Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*. Geological Society of America Special Paper 393: 1-50.
- BLOUNT, G., y N. LANCASTER. 1990. Development of the Gran Desierto Sand Sea, Northwestern Mexico. *Geology* 18: 724-728.
- BRUNNER, P. 1975. Estudio estratigráfico del Devónico en el área de El Bisani, Caborca, Sonora. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo* 7: 16-45.
- BURCKHARDT, C. 1930. Étude synthétique sur le Mésozoïque mexicain. *Mémoire de la Société Paléontologique Suisse* 49, parte 1, 123 p.
- CALLAWAY, J.M. y J.A. MASSARE. 1989. *Shastasaurus altispinus* (Ichthyosauria, Shastasauridae) from the Upper Triassic of the El Antimonio District, Northwestern Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology* 63: 930-939.
- CEVALLOS-FERRIZ, S., A. SALCIDO-REYNA y A. PELAYO-LEDEZMA. 1981. Una nueva sección del Precámbrico de Sonora; los estromatolitos y su importancia. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista* 5: 1-16.
- CEVALLOS-FERRIZ, S. y R. WEBER. 1980. Arquitectura, estructura y ambiente de depósito de algunos estromatolitos del Precámbrico sedimentario de Caborca, Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista* 4: 97-103.
- CHACÓN-BACA, E., H. BERARDI-CAMPESI, S.R.S. CEVALLOS-FERRIZ, A.H. KNOLL y S., GOLUBIC. 2002. 70 Ma Nonmarine Diatoms from Northern Mexico. *Geology* 30: 279-281.
- COCHEMÉ, J.J. y A. DEMANT. 1991. Geology of the Yecora Area, Northern Sierra Madre Occidental, Mexico. En: E. Pérez-Segura y C. Jacques-Ayala, eds. *Studies of Sonoran Geology*. Geological Society of America Special Paper 254: 81-94.
- COOPER, G.A. 1952. Permian fauna at El Antimonio, western Sonora. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 119, 2: 1-13.
- DAMBORENEA, S.E. y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1997. Late Triassic and Early Jurassic Bivalves from Sonora,

- Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 14: 178-201.
- DICKINSON, W.R., M.A. KLUTE y P.N. SWIFT. 1986. The Bisbee Basin and its Bearing on Late Mesozoic Paleogeographic and Paleotectonic Relations between the Cordilleran and Caribbean Regions. En: P.L. Abbott, ed. *Cretaceous Stratigraphy Western North America*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section 46: 51-62.
- ESCÁRCEGA-ESCÁRCEGA, J.A. 1985. Geología de Sonora. En: *Historia General de Sonora*. T. 1. Gobierno del Estado de Sonora, México, pp. 27-77.
- ESTEP, J.W., S.G. LUCAS y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1997. Late Triassic (Late Carnian) Ammonoids at El Antimonio, Sonora. En: C.M. González-León y G.D. Stanley Jr. *US-Mexico Cooperative Research: International Workshop on the Geology of Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste. Publicaciones Ocasionales 1: 16-18.
- FERRARI, L., M. VALENCIA-MORENO y S. BRYAN. 2005. Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, t. LVII, núm. 3, pp. 343-378.
- GABB, M.W. 1869. Notes on Some Mexican Cretaceous Fossils with Descriptions of New Species. California Geological Survey. *Paleontology* 2: 257-276.
- GONZÁLEZ-LEÓN, C.M. 1986. Estratigrafía del Paleozoico de la sierra del Tule, noreste de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista* 6: 117-135.
- GONZÁLEZ-LEÓN, C.M., G.D. STANLEY, G.E. GEHRELS y E. CENTENO-GARCÍA. 2005. New Data on the Lithostratigraphy, Detrital Zircon and Nd Isotope Provenance, and Paleogeographic Setting of the El Antimonio Group, Sonora, Mexico. En T.H. Anderson, J.A. Nourse, J.W. McKee y M.B. Steiner, eds. *The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*. Geological Society of America Special Paper 393: 259-282.
- GONZÁLEZ-LEÓN, C.M., M.A. VALENCIA-MORENO, B. NOGUÉZ-ALCÁNTARA y E. SALVATIERRA-DOMÍNGUEZ. 2006. Mapa geológico de Sonora, México. Escala 1:1 000 000. *Digital Geosciences* (http://digital-geosciences.unam.mx/toc.htm#Gonzalez_2006).
- GONZÁLEZ-LEÓN, C.M., R.W. SCOTT, H. LÖSER, T.F. LAWTON y E. ROBERT. 2008. Upper Aptian-Lower Albian Mural Formation: Stratigraphy, Biostratigraphy and Depositional Cycles on the Sonoran Shelf, Northern México. *Cretaceous Research* 29: 249-266.
- GONZÁLEZ-LEÓN, C.M. y T.F. LAWTON. 1995. Stratigraphy, Depositional Environments and Origin of the Cabullona Basin, Northeastern Sonora. En: C. Jacques-Ayala, C.M. González-León y J. Roldán-Quintana, eds. *The Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas*. Geological Society of America Special Papers 301: 121-142.
- GOODFELLOW, G.E. 1887. The Sonora Earthquake. *Science* 10: 81-82.
- GUTMANN, J.T. 1976. Geology of Crater Elegante, Sonora, Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 87: 1718-1729.
- GUTMANN, J.T. 2002. Strombolian and Effusive Activity as Precursors to Phreatomagmatism: Eruptive Sequence at Maars of the Pinacate Volcanic Field, Sonora, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 113: 345-356.
- GUTMANN, J.T. 2006. The Age of Crater Elegante, a Maar in the Pinacate Volcanic Field, Sonora, Mexico. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 38, 6: 32.
- GUTMANN, J.T. TURRIN, B.D. y J.C. DOHRENWEND. 2000. Basaltic Rocks from the Pinacate Volcanic Field Yield Notably Young $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 81: 33-37.
- HERNÁNDEZ-CASTILLO, G.R. y S.R.S. CEVALLOS-FERRIZ. 1999. Reproductive and Vegetative Organs with Affinities to Haloragaceae from the Upper Cretaceous Huepac Chert Locality of Sonora, Mexico. *American Journal of Botany* 86: 1717-1734.
- HOFFMAN, P.F. 1991. Did the Breakout of Laurentia Turn Gondwanaland Inside-Out? *Science* 252: 1409-1412.
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES. 2006. International Stratigraphic Chart. International Union of Geological Sciences, International Commission on Stratigraphy (<http://www.stratigraphy.org/cheu.pdf>).
- KING, R.E. 1939. Geological Reconnaissance in Northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 50: 1625-1722.
- LOCHMAN, C. 1948. New Cambrian Trilobite Genera from Northwest Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology* 22: 451-464.
- LOCHMAN, C. 1952. Trilobites. En: G.A. Cooper, A.R.V. Arellano, J.H. Johnson, V.J. Okulithc, A. Stoyanow y C. Lochman, eds. *Cambrian Stratigraphy*

- phy and Paleontology near Caborca, Northwestern Sonora, Mexico.* Smithsonian Miscellaneous Collections 119, 1: 60-61.
- LUCAS, S.G., B.S. KUES y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1995. Paleontology of the Upper Cretaceous Cabullona Group, Northeastern Sonora, Mexico. En: C. Jacques-Ayala, C.M. González-León y J. Roldán-Quintana, eds. *The Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas*. Geological Society of America Special Paper 301: 143-165.
- LUCAS, S.G., G. MORGAN y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1997. *Rhynchotherium* (Mammalia, Proboscidea) de San José de Pimas, Sonora. *Geología del Noroeste* 2: 7-8.
- LUCAS, S.G. y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1996a. Dinosaurios del Cretácico Tardío del grupo Cabullona. *Geología del Noroeste* 1: 20-25.
- LUCAS, S.G. y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1996b. The Arizpe Mammoth, Pleistocene of Sonora, Mexico-Taxonomic Re-evaluation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 13: 90-93.
- LUCAS, S.G. y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1997. *Cuvieronius* (Mammalia, Proboscidea) de Oquitoa, Sonora. *Geología del Noroeste* 2: 12-13.
- MCDOWELL, F., J. ROLDÁN-QUINTANA y R. AMAYA-MARTÍNEZ. 1997. Interrelationship of Sedimentary and Volcanic Deposits Associated with Tertiary Extension in Sonora, Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 109: 1349-1360.
- MCMENAMIN, M.A.S. 1996. Ediacaran Biota from Sonora, Mexico. *Proceedings National Academy of Science* 93: 4990-4993.
- MCMENAMIN, M.A.S., ed. 2001. *Paleontology Sonora: Lipalian and Cambrian*. South Hadley, Massachusetts. Meanma Press, 192 p.
- MCMENAMIN, M.A.S., S.A. AWRAMIK y J.H. STEWART. 1983. Precambrian-Cambrian Transition Problem in Western North America. Parte II. Early Cambrian Skeletonized Fauna and Associated Fauna from Sonora, Mexico. *Geology* 11: 227-230.
- MCMENAMIN, M. y H. D'AMBROSIO. 1997. La biota Ediacara de Sonora. *Geología del Noroeste* 2: 15-16.
- MCRROBERTS, C.A. 1997. Late Triassic (Norian-Rhaetian) Bivalves from the Antimonio Formation, Northwestern Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 14: 167-177.
- MEAD, J.I., A. BAEZ, S.L. SWIFT, M.C. CARPENTER, M. HOLLENSHEAD, N.J. CZAPLEWSKI, D.W. STEADMAN, J. BRIGHT y J. ARROYO-CABRALES. 2006. Tropical Marsh and Savanna of the Late Pleistocene in Northeastern Sonora, Mexico. *The southwestern Naturalist* 51: 226-239.
- MEERT, J.G. y T.H. TORSVIK. 2003. The Making and Unmaking of a Supercontinent: Rodinia Revisited. *Tectonophysics* 375: 261-288.
- MONTANÉ-MARTÍ, J.C. 1987. El poblamiento temprano de Sonora: En: A. González-Jácome. *Orígenes del hombre americano*. Secretaría de Educación Pública, México, p. 83-116.
- MORA-ÁLVAREZ, G. y F.W. MCDOWELL. 2000. Miocene Volcanism during Late Subduction and Early Rifting in the Sierra Santa Ursula of Western Sonora, Mexico. En: H. Delgado-Granados, G. Aguirre-Díaz y J.M. Stock, eds. *Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico*. Geological Society of America Special Paper 334: 123-141.
- NARBONNE, G.M. 2005. The Ediacara Biota: Neoproterozoic Origin of Animals and their Ecosystem. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 33: 421-442.
- ORTLIEB, L. 1991. Quaternary Shorelines along the Northeastern Gulf of California; Geochronological Data and Neotectonic Implication. En: Pérez-Segura, E. Jacques-Ayala, C., eds. *Studies of Sonoran Geology*. Geological Society of America Special Paper 254: 95-120.
- OSKIN, M. y J. STOCK. 2003. Pacific-North America Plate Motion and Opening of the Upper Delfin Basin, Northern Gulf of California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*: 115: 1173-1190.
- PACHECO, M., A. MARTÍN-BARAJAS, W. ELDERS, J.M. ESPINOSA-CARDEÑA, J. HELENES y A. SEGURA. 2006. Stratigraphy and Structure of the Altar Basin of NW Sonora: Implications for the History of the Colorado River delta and Salton through. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23: 1-22.
- PAGE, W.R., A.G. HARRIS, F.G. POOLE y J. REPETSKIC. 2003. Reinterpretation of the Stratigraphy and Structure of the Rancho Las Norias Area, Central Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 523-540.
- PAZ-MORENO, F.A. 1985. Composición y origen de los basaltos (Malpais) Plio-Cuaternarios de Moctezuma, Sonora, México. Universidad de Sonora. *Boletín del Departamento de Geología* 2: 9-15.
- PAZ-MORENO, F.A., A. DEMANT, J.J. COCHEMÉ, J. DOSTAL y R. MONTIGNY. 2003. The Quaternary Moctezuma Volcanic Field: A Tholeiitic to Alkali Basaltic Episode in the Central Sonoran Basin and Ran-

- ge Province, Mexico. En: S.E. Johnson, S.R. Pater-son, J.M. Fletcher, G.H. Girty, D.L. Kimbrough y A. Martín-Barajas, eds. *Tectonic evolution of north-western Mexico and the southwestern USA*. Geological Society of America Special Paper 374: 439-455.
- PEIFFER-RANGIN, F., A. ECHÁVARRI-PÉREZ, G. SALAS-PÍZA y C. RANGIN. 1980. Sur la présence de l'Ordovicien á graptolites dans le nord-ouest de Mexique. París. *C.R. Academy of Science*, series D, 290: 13-16.
- POOLE, F.G., R. AMAYA-MARTÍNEZ y W.R. PAGE. 2000. Silurian and Devonian Carbonate-Shelf Rocks and Lower Jurassic Sequence near Rancho Placeritos, West-Central Sonora: Field Guide for Field Trip 2. IV Simposio sobre la Geología del Noroeste de México y Áreas Adyacentes (6-8 de marzo, 2000), Hermosillo, Sonora, 24 p.
- POOLE, F.G., W.J. PERRY, R.J. MADRID y R. AMAYA MARTÍNEZ. 2005. Tectonic Synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora Orogenic Margin of Southern Laurentia: Stratigraphic and Structural Implications for Timing of Deformational Events and Plate Tectonic Model. En T.H. Anderson, J.A. Nourse, J.W. McKee y M.B. Steiner, eds., *The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives*. Geological Society of America Special Paper 393: 543-596.
- RAISZ, E. 1964. The Landforms of Mexico. Office of Naval Research Geography Branch, Cambridge, Ma., 2a. ed., escala 1:4 000 000.
- RANGIN, C. 1986. Contribution a l'étude géologique du system Cordilléraín Mésozoïque du nord-ouest du Mexique. Société Géologique France. *Mémoire 148*: 136 p.
- REID, J. y S. WHITTLESEY. 1997. *The Archaeology of Ancient Arizona*. The University of Arizona Press, 297 p.
- ROLDÁN QUINTANA, J. 1991. Geology and Geochemical Composition of the Jaralito and Aconchi Batholiths in East-Central Sonora, Mexico. En: E. Pérez-Segura y C. Jacques-Ayala, eds. *Studies of Sonoran Geology*. Geological Society of America Special Paper 254: 69-80.
- SÁNCHEZ, M.G. 2001. A Synopsis of Paleo-Indian Archaeology in Mexico. *Kiva* 67: 119-136.
- SCOTSESE, C.R. 2002. Paleomap Project (<http://www.scotese.com/earth.htm>).
- SHAW, C.A., F.W. CROXEN III y D.R. SUSSMAN. 2005. El Golfo de Santa Clara, Sonora, México. Society of Vertebrate Paleontology 65th Annual Meeting, Field Guide, núm. 5, 35 p.
- SHAW, C.A. y H.G. McDONALD. 1987. First Record of Giant Anteater (*Xenarthra*, Myrmecophagidae) in North America. *Science* 238: 186-188.
- SOUR-TOVAR, F., J.W. HAGADORN y T. HUITRÓN-RUBIO. 2007. Ediacara and Cambrian Index Fossils from Sonora, Mexico. *Paleontology* 50, parte 1: 169-175.
- STANLEY, G.D., C.M. GONZÁLEZ-LEÓN, M.R. SANDY, B. SENOWBARI-DARYAN, P. DOYLE, M. TAMURA y D.H. ERWIN. 1994. Upper Triassic Invertebrates from the Antimonio Formation, Sonora, Mexico. *Journal of Paleontology Memoir* 36, 4: 33 p.
- STEWART, J.H., M.A.S. McMENAMIN y J.M. MORALES-RAMÍREZ. 1984. Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, Mexico. Physical Stratigraphy, Biostratigraphy, Paleocurrent Studies, and Regional Relations. *U.S. Geological Survey Professional Paper* 1309, 36 p.
- STEWART, J.H., R. AMAYA-MARTÍNEZ y A.R. PALMER. 2002. Neoproterozoic and Cambrian Strata of Sonora, Mexico: Rodinian Supercontinent to Laurentian Cordilleran Margin. En A. Barth, ed., *Contribution to Crustal Evolution of the Southwestern United States*. Geological Society of America Special Paper 365: 5-48.
- STEWART, J.H. y J. ROLDÁN-QUINTANA. 1994. Map Showing Late Cenozoic Extensional Tilt Patterns and Associated Structures in Sonora and Adjacent Areas, Mexico: *U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF 2238*.
- SUTER, M. 2001. The Historical Seismicity of Northeastern Sonora and Northwestern Chihuahua, Mexico (28-32°N, 106-111°W) *Journal of South American Earth Sciences* 14: 521-532.
- SUTER, M. 2006. Contemporary Studies of the 3 May 1887 Mw 7.5 Sonora, Mexico (Basin and Range Province) Earthquake. *Seismological Research Letters* 77, 2: 134-147.
- SUTER, M. 2007. The First Geologic Map of Sonora. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, t. LIX, 1: 1-7.
- SUTER, M. y J. CONTRERAS. 2002. Active Tectonics of Northeastern Sonora, Mexico (Southern Basin and Range Province) and the 3 May 1887 Mw=7.4 Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92: 581-589.
- TALIAFERRO, N.L. 1933. An Occurrence of Upper Cretaceous Sediments in Northern Sonora, Mexico. *Journal of Geology* 41: 12-37.
- TAYLOR, D.G., J. GUEx y M. RAKUS. 2001. Hettangian and Sinemurian Ammonoid Zonation for the West-

- ern Cordillera of North America. *Bulletin de Géologie Lausanne*: 350: 381-421.
- VALENCIA-MORENO, M., A. IRIONDO y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 2006a. Temporal Constraints on the Eastward Migration of the Late Cretaceous-Early Tertiary Magmatic arc of NW Mexico Based on New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Hornblende Geochronology of Granitic Rocks: *Journal of South American Earth Sciences* 22: 22-38.
- VALENCIA-MORENO, M., L. OCHOA-LANDÍN, B. NOGUEZ-ALCÁNTARA, J. RUIZ y E. PÉREZ-SEGURA. 2006b. Características metalogénicas de los depósitos de tipo pórfido cuprífero en México y su situación en el contexto mundial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, t. LVIII, 1: 1-26.
- VALENTINE, W.G. 1936. Geology of the Cananea Mountains, Sonora, Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 47: 53-86.
- VAN DEVENDER, T.R., A. M. REA y M.L. SMITH. 1985. The Sangamon Interglacial Vertebrate Fauna from Rancho la Brisca, Sonora, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 21: 23-55.
- VEGA-GRANILLO, R. y E. ARAUX-SÁNCHEZ. 1987. Estratigrafía del Paleozoico en el área del rancho Las Norias, Sonora Central. Universidad de Sonora. *Boletín del Departamento de Geología* 4: 41-50.
- VILLASEÑOR, A.B., C.M. GONZÁLEZ-LEÓN, T.F. LAWTON y M. ABERHAN. 2005. Upper Jurassic Ammonites and Bivalves from the Cucurpe Formation, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22: 65-87.
- WEBER, R. 1995. A New Species of *Scoresbya* Harris and *Sonoraphyllum* gen. nov. (Plantae *Incertae sedis*) from the Late Triassic of Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 12: 68-93.
- WEBER, R. 1997. How Old is the Triassic Flora of Sonora and Tamaulipas and News on Leonardian Floras in Puebla and Hidalgo, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 14: 225-243.
- WEBER, R., A. ZAMBRANO-GARCÍA y F. AMOZURRUTIA-SILVA. 1980. Nuevas contribuciones al conocimiento de la taoflora de la formación Santa Clara (Triásico Tardío) de Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista* 4: 125-137.
- WEBER, R., S. CEVALLOS-FERRIZ, A. LÓPEZ-CORTÉS, A. OLEA-FRANCO y S. SINGER-SOCHET. 1979. Los estromatolitos del Precámbrico Tardío de los alrededores de Caborca, Estado de Sonora. Parte I. Reconstrucción de *Jacutophyton* Shapovalova e interpretación paleoecológica preliminar. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista* 3: 9-24.
- WEBER, R. y G. ZAMUDIO-VARELA. 1995. *Laurozamites*, a New Genus and Species of Bennettitalean Leaves from the Late Triassic of North America. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 12: 68-93.
- WEBER, R. y S. CEVALLOS-FERRIZ. 1980. El significado bioestratigráfico de los estromatolitos del Precámbrico sedimentario de la región de Caborca, Sonora. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. *Revista* 4: 104-110.
- WILSON, I.F. y V.S. ROCHA. 1949. Coal Deposits of the Santa Clara District Near Tonichi, Sonora, Mexico. *United States Geological Survey Bulletin* 962-A: 1-80.
- WINKER, C.D. y S. KIDWELL. 1986. Paleocurrent Evidence for Lateral Displacement of the Pliocene Colorado River Delta by the San Andreas Fault System, Southeastern California. *Geology* 14: 788-791.
- ZHAO, G., M. SUN, S.A. WILDE y Z. LI. 2004. A Paleoproterozoic Supercontinent: Assembly, Growth and Breakup. *Earth-Science Reviews* 67: 91-123.

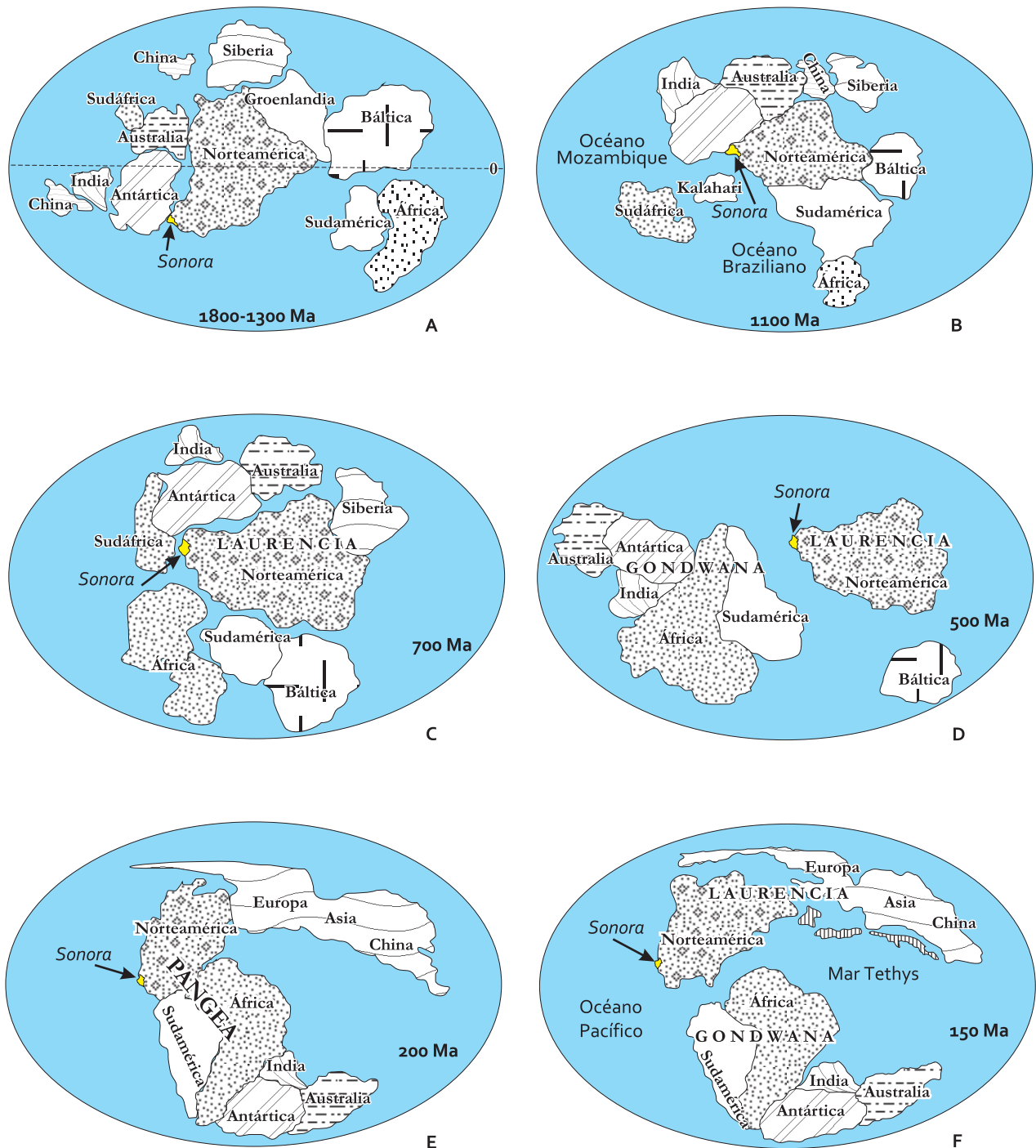


Figura 1. Mapas paleogeográficos que muestran el movimiento y configuración de las masas continentales, así como la ubicación de Sonora durante diferentes épocas de la historia de la Tierra. **A)** Supercontinente Columbia entre los aproximadamente 1800 y 1300 Ma (de acuerdo a Zhao *et al.*, 2004). **B)** Supercontinente Rodinia hacia aproximadamente 1100 Ma (de acuerdo a Meert y Torsvik, 2003). **C)** Configuración continental hacia finales de la Era Neoproterozoica y principios de la Paleozoica. **D)** Diferenciación de los supercontinentes Laurentia y Gondwana a principios de la Era Paleozoica (C y D, según Hoffman, 1991). **E)** El supercontinente Pangea a principios del Período Jurásico en la Era Mesozoica y, **F)** su disgregación en el Jurásico Tardío que dio origen a los nuevos supercontinentes Laurentia y Gondwana (E y F, según Scotese, 2002).

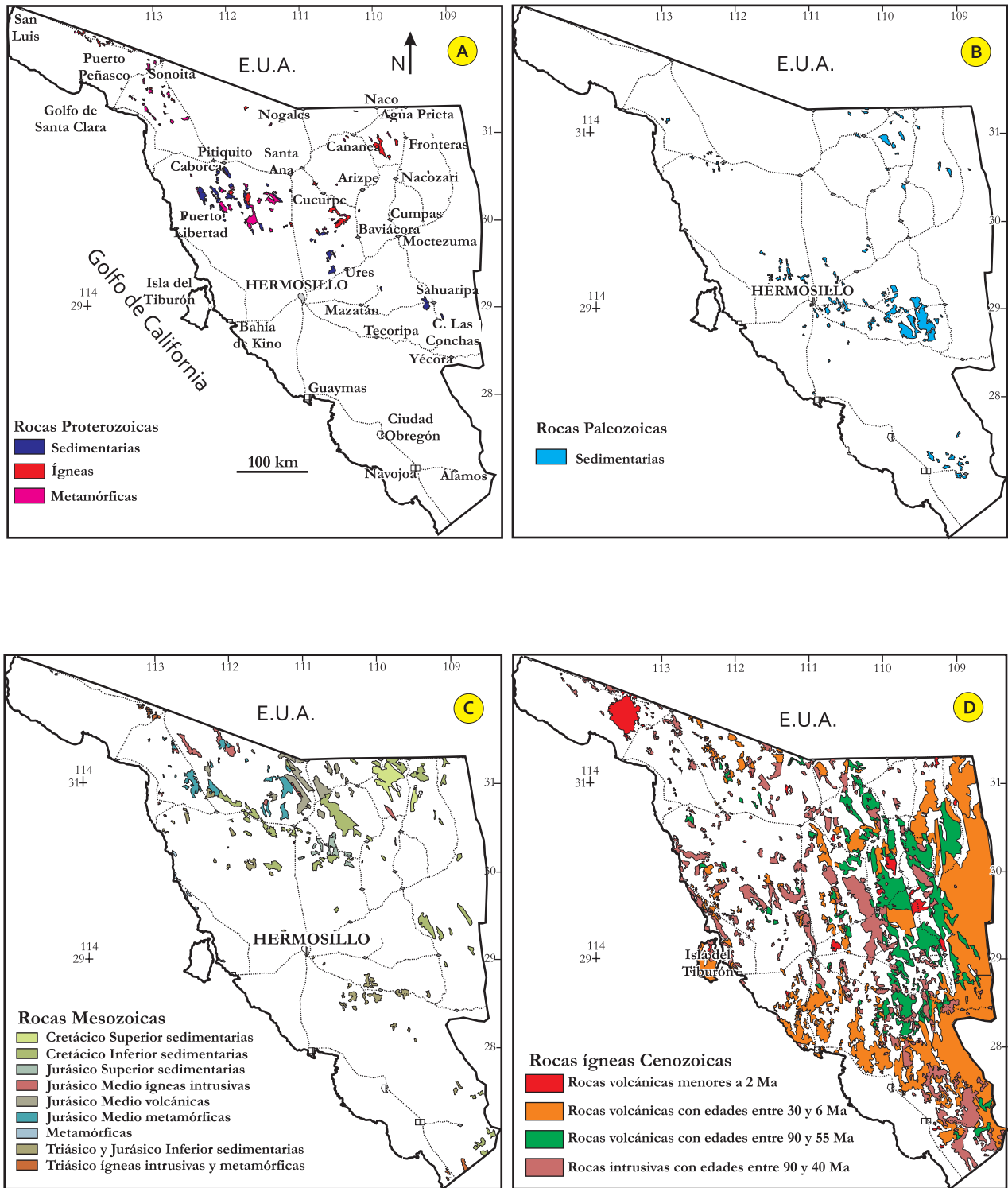


Figura 2. Mapas geológicos que muestran las rocas de los diferentes Eras y Períodos que afloran en Sonora. **A)** Distribución de las rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias del Proterozoico. **B)** Distribución de las rocas Paleozoicas. **C)** Distribución de las rocas metamórficas, volcánicas, ígneas intrusivas y sedimentarias del Mesozoico. **D)** Distribución de las rocas ígneas intrusivas y volcánicas del Cretácico Superior y Cenozoico. Las figuras no muestran las rocas sedimentarias Cenozoicas de edad Mioceno al Cuaternario que forman el relleno de los valles de Sonora (Geología tomada de González-León *et al.*, 2006. Se muestran localidades mencionadas en el texto).

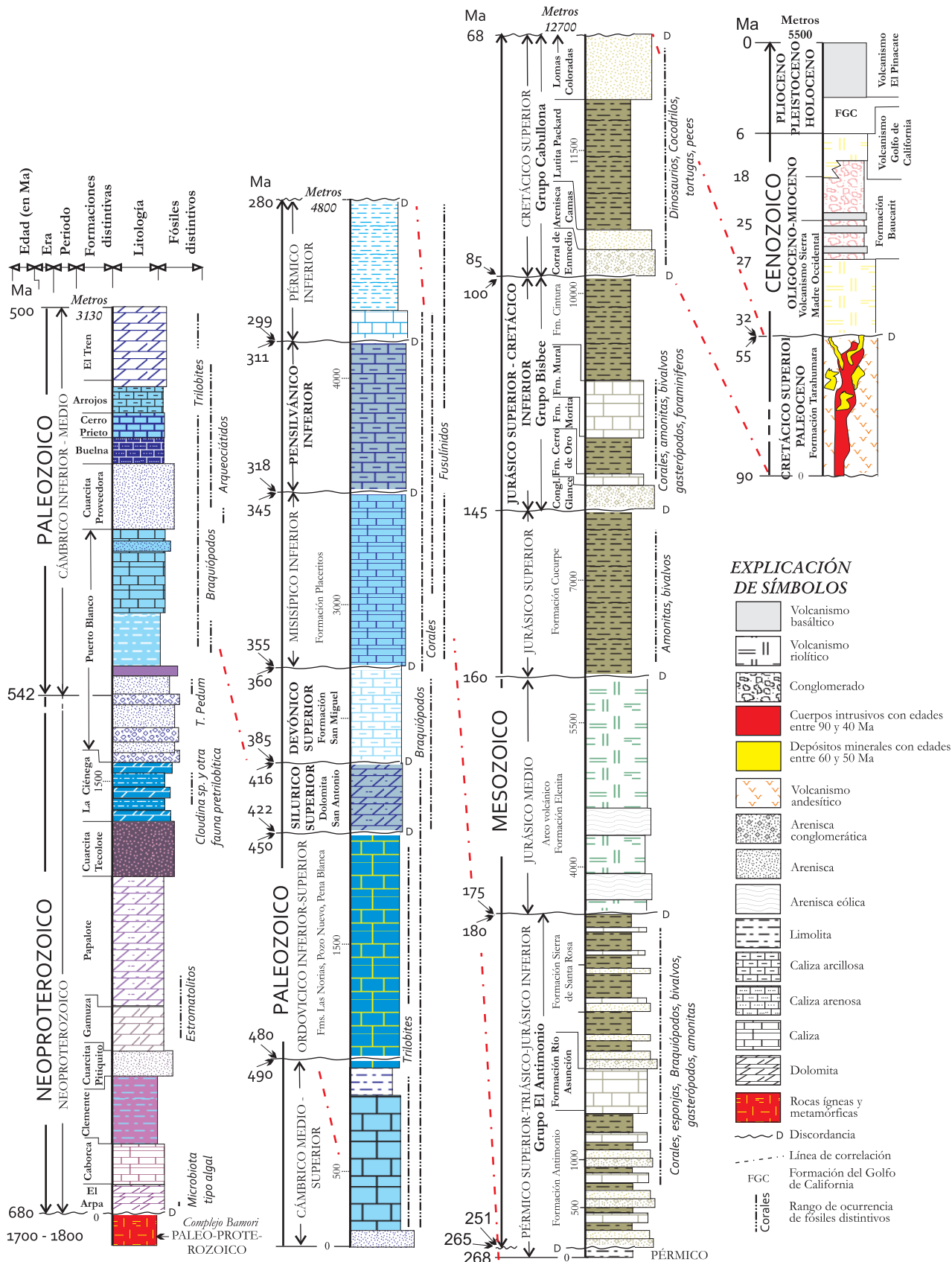




Figura 4. Fósiles marinos de las rocas Neoproterozoicas de Sonora. **A)** Estromatolitos del género *Conophyton*(?) de la Formación Gamuza de los cerros al sur de Pitiquito, Sonora. **B)** Tubos del fósil *Cloudina* sp. Grant 1990 en capas de dolomita arenosa de la Formación La Ciénega, en los cerros La Ciénega (localizados al sur de Pitiquito). **C)** Fósil *Treptichnus pedum* Jensen y Grant 1992 que marca el inicio del Cámbrico y que ocurre en la Formación Puerto Blanco, en cerros La Ciénega (el tamaño de esta muestra es aproximadamente de dos centímetros de largo). **D)** *Sekwia* Hofmann 1981 de la Formación Clemente en Cerros Rajón, sur de Pitiquito, Sonora. **E)** *Evandavia aureola* McMenamin 2001 (Fotos A y B cortesía del Dr. James W. Hagadorn, Ahmrest College, MA. Fotografía «C» cortesía del Dr. Francisco Sour Tovar, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Fotos D y E cortesía del Dr. Mark McMenamin, Mount Holyoke College, Massachussets).

Figura 3 (página anterior). Columna estratigráfica representativa que indica la edad, formaciones distintivas y espesor máximo de las rocas que componen la corteza continental de Sonora. Indica las rocas del Paleoproterozoico (1 700-1 800 Ma) al Reciente e incluye a las metamórficas, ígneas intrusivas, volcánicas y sedimentarias. No se incluyen las rocas Neoproterozoicas de los grupos Las Víboras, El Águila y Las Bolas que, en conjunto, tienen un espesor de ~5.6 km. Es una columna compuesta que también muestra algunos de los principales grupos fósiles de organismos que vivieron en cada uno de los períodos geológicos, los eventos de mineralización y la formación del Golfo de California (FGC). En este trabajo se usa la escala del tiempo geológico de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, 2006).

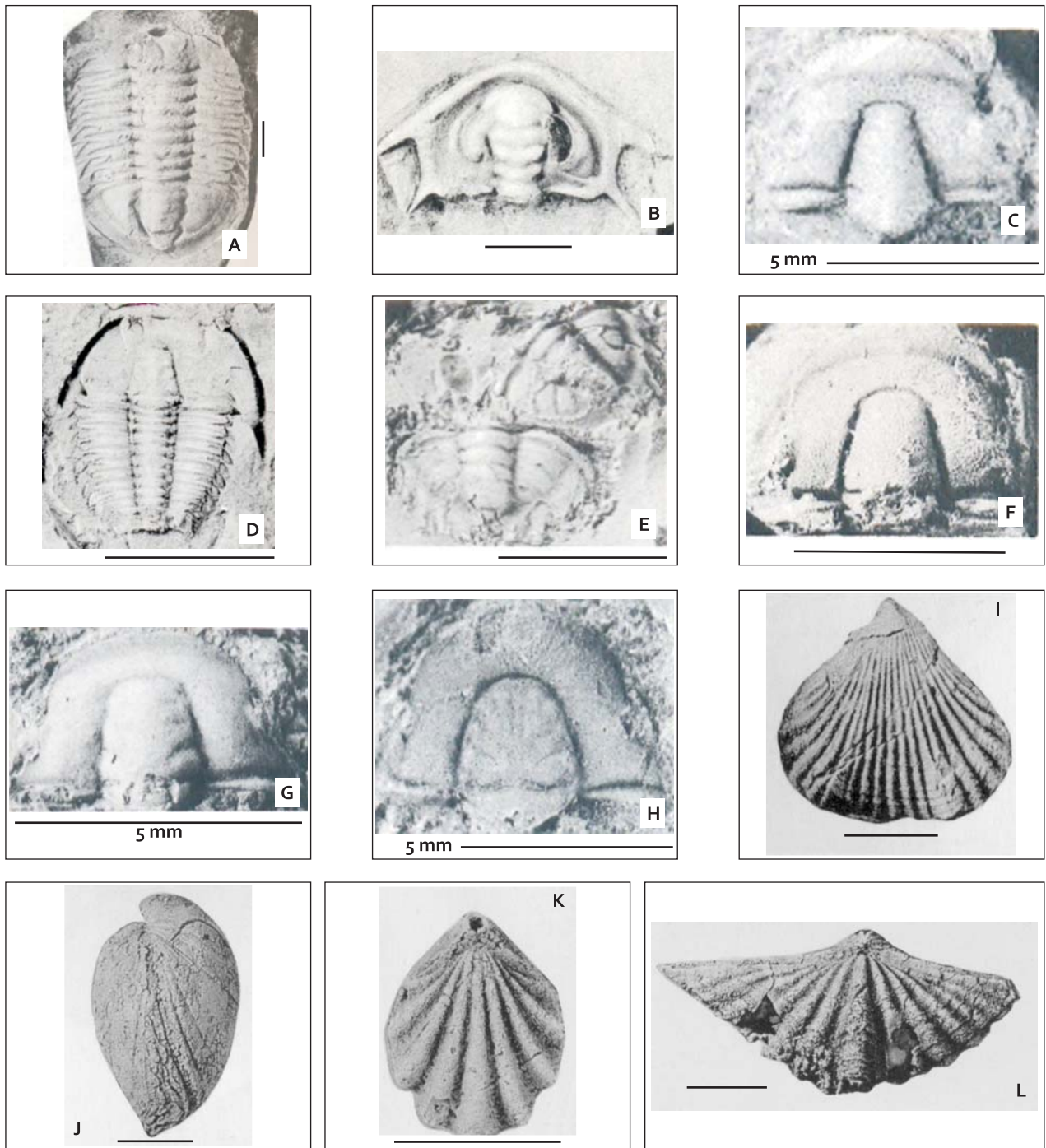


Figura 5. Trilobites y braquiópodos de las rocas paleozoicas de Sonora. A-H, Trilobites cámbricos de los cerros Proveedora, Caborca (tomadas de Lochman, 1952): **A)** *Sonoraspis torresi* (Stoyanow) Lochman, 1952. **B)** Vista dorsal de un cefalón de *Waneria mexicana prima* Lochman 1952. **C)** Cranidio de *Sombrella mexicana* Lochman 1952. **D)** Cefalón y tórax casi completos de *Inglefieldia imperfecta* Lochman 1952. **E)** Vista dorsal de dos pigidios de *Kootenia exilaxata* Deiss 1939. **F)** Vista dorsal del cranidio de *Alokistocarella mexicana* Lochman 1952. **G)** Vista dorsal de cranidio de *Arellanella caborcana* Lochman 1952. **H)** Cranidio de *Mexicella mexicana* Lochman 1952. I-L, braquiópodos pérmicos de la Formación Monos, parte norte de la Sierra del Álamo, Caborca (tomados de Cooper, 1952): **I)** *Uncinunellina? pulcra* Cooper 1953. **J)** *Composita grandis* Cooper 1953. **K)** *Hustedia meekana* Shumard 1909. **L)** *Spiriferellina sonorensis* Cooper 1953. Las barras de escala son de 1 cm de largo, excepto donde se indica otra medida. Fotos cortesía del Smithsonian Institution (enero 8 de 2009).

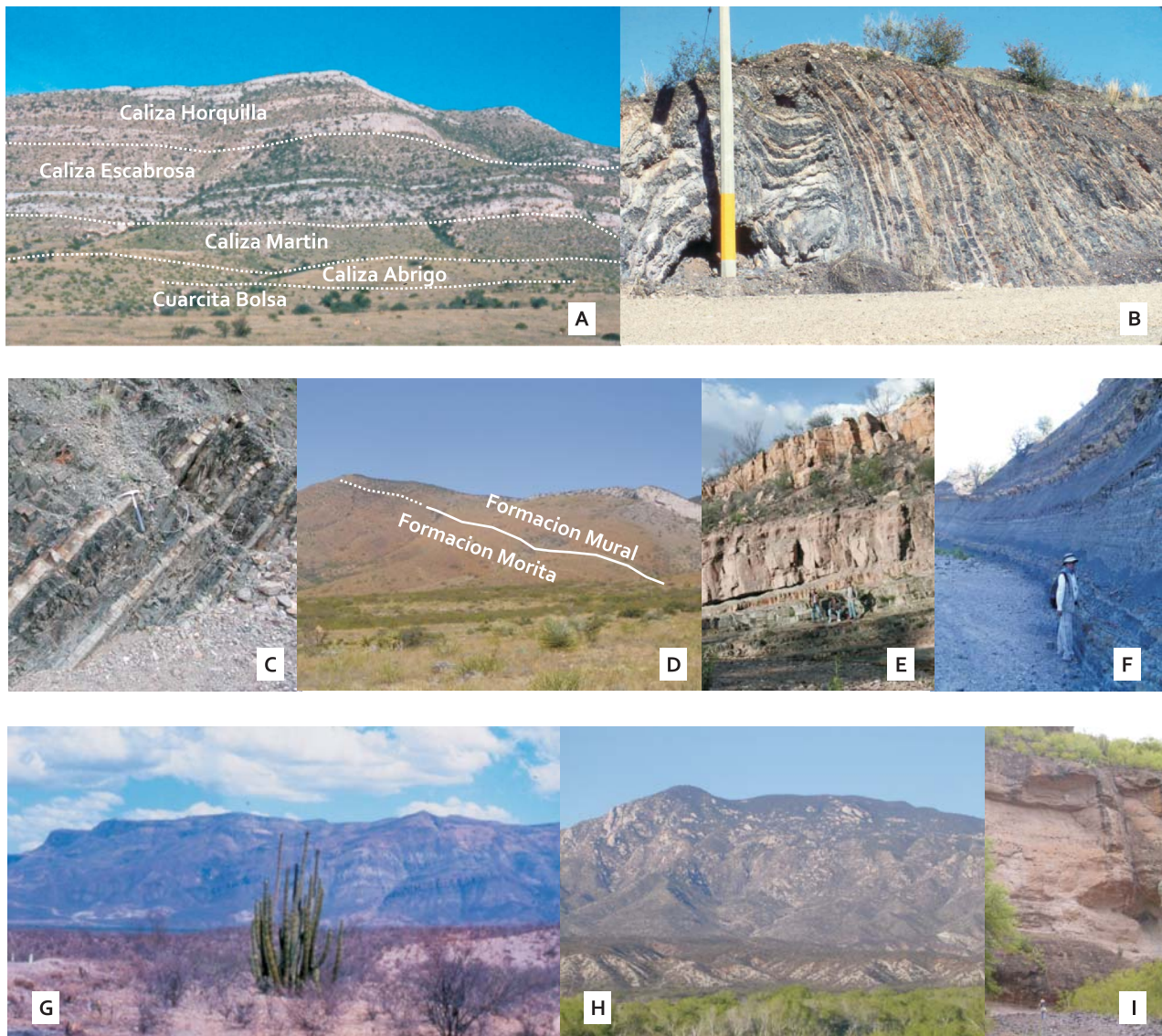


Figura 6. Afloramientos de rocas. **A)** Secuencia de rocas Paleozoicas del cerro Caloso de la sierra del Tule (25 km al norte de Cananea), noreste de Sonora. Afloran las formaciones Cuarcita Bolsa y Caliza Abrigo del Cámbrico, la Caliza Martin del Devónico, la Caliza Escabrosa del Misisípico y la Caliza Horquilla del Pensilvánico. **B)** Lutitas, limolitas y pedernal con barita de las rocas sedimentarias de cuenca marina profunda de la formación El Yaqui, centro de Sonora (localidad de mina Barita de Sonora; fotografía cortesía del Dr. F.G. Poole). **C)** Secuencia de lutitas y areniscas formadas en mar profundo de la Formación Cucurpe (Jurásico Superior) en el rancho San Francisco del Rincón, región de Cucurpe. **D)** Formaciones Morita y Mural inclinadas hacia el norte en la Sierra San José, Naco. **E)** Capas de arenisca y limolita de origen fluvial de la formación Arenisca Camas del Grupo Cabullona, región de Naco-Cananea. **F)** Lutitas negras de origen lacustre de la formación Lutita Packard (Grupo Cabullona, Cretácico Tardío) en la región de Naco-Cananea. **G)** Gruesa secuencia de rocas volcánicas del Oligoceno que forman la parte inferior de la Sierra Madre Occidental al oriente de Huásabas (fotografía cortesía del Dr. Jaime Roldán Quintana, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México). **H)** Intrusivo granítico del Paleoceno (Cenozoico temprano) que forma la sierra de Aconchi al poniente del poblado de ese mismo nombre. **I)** Conglomerados y areniscas de la formación Báucarit en el arroyo El Toro Muerto, valle del río Sonora en Arizpe.

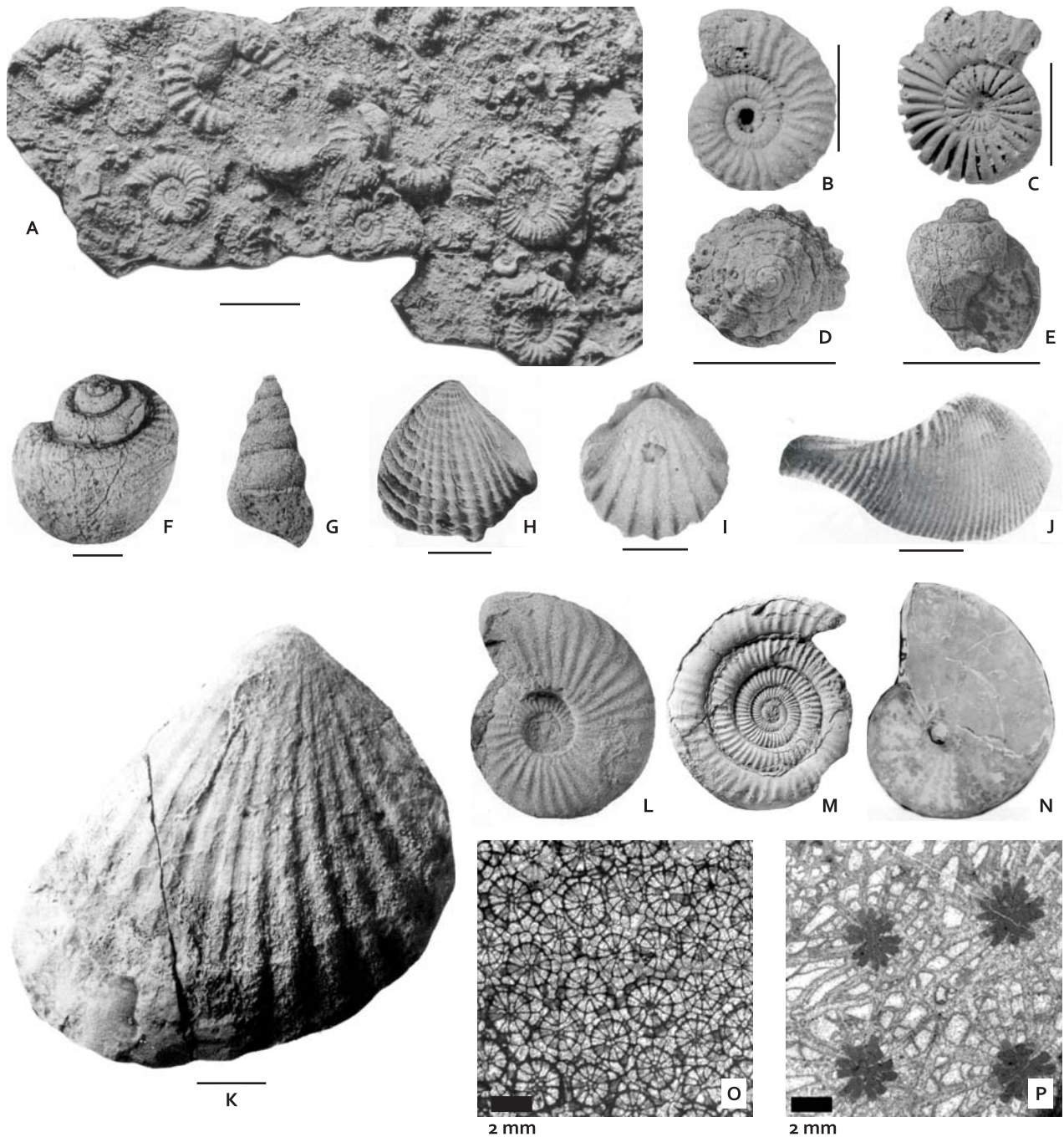


Figura 7. Fósiles marinos Mesozoicos de Sonora. A-K fósiles del Triásico Tardío de las formaciones Antimonio y Río Asunción, sierra del Álamo (localizada a 45 km al poniente de Caborca): **A)** Muestra de roca con amonitas de los géneros *Traskites*, *Clionites* y *Simpolycyclus*. **B y C)** Amonitas *Clionites fairbanksi* Hyatt y Smith 1905 y *Simpolycyclus nodifer* Hyatt y Smith 1905, respectivamente (A-C, tomadas de Estep *et al.*, 1997). **D-G,** gasterópodos: **D)** *Eucycloscala subbisertus* Münster 1841. **E y F)** *Omphalotychia* sp. **G)** *Promathilda* sp. **H-K,** bivalvos: **H)** *Myophorogonia salasi* Alencáster 1961, **I)** *?Propeamussium* cf. *Schafhaeutli*. **J)** *Xiaoschuiculana tozeri*. **K)** *Mysidioptera mexicana* (D-H, tomados de Stanley *et al.*, 1994, con permiso de The Paleontological Society; I-J, tomados de McRoberts, 1997; K, tomado de Damborenea y González-León, 1997); L-M, amonitas jurásicas de la Formación Sierra de Santa Rosa, Sierra del Álamo, tomadas de Taylor *et al.*, 2001: **L)** *Badouxia mexicana* Taylor, Guex y Rakus 2001 (diámetro 4.9 cm). **M)** *Epophioceras wendelli* Taylor, Guex y Rakus 2001 (diámetro 11.44 cm). **N)** Amonita del Cretácico Inferior, Cerro Las Conchas, *Engonoceras* sp. (6 cm de diámetro). **O y P),** microfotografía de corales coloniales *Keriophyllia roniewiczze* y *Preverastrea* sp., respectivamente (cortesía del Dr. Hannes Löser). Las barras de escala miden un centímetro de largo, excepto en O y P.

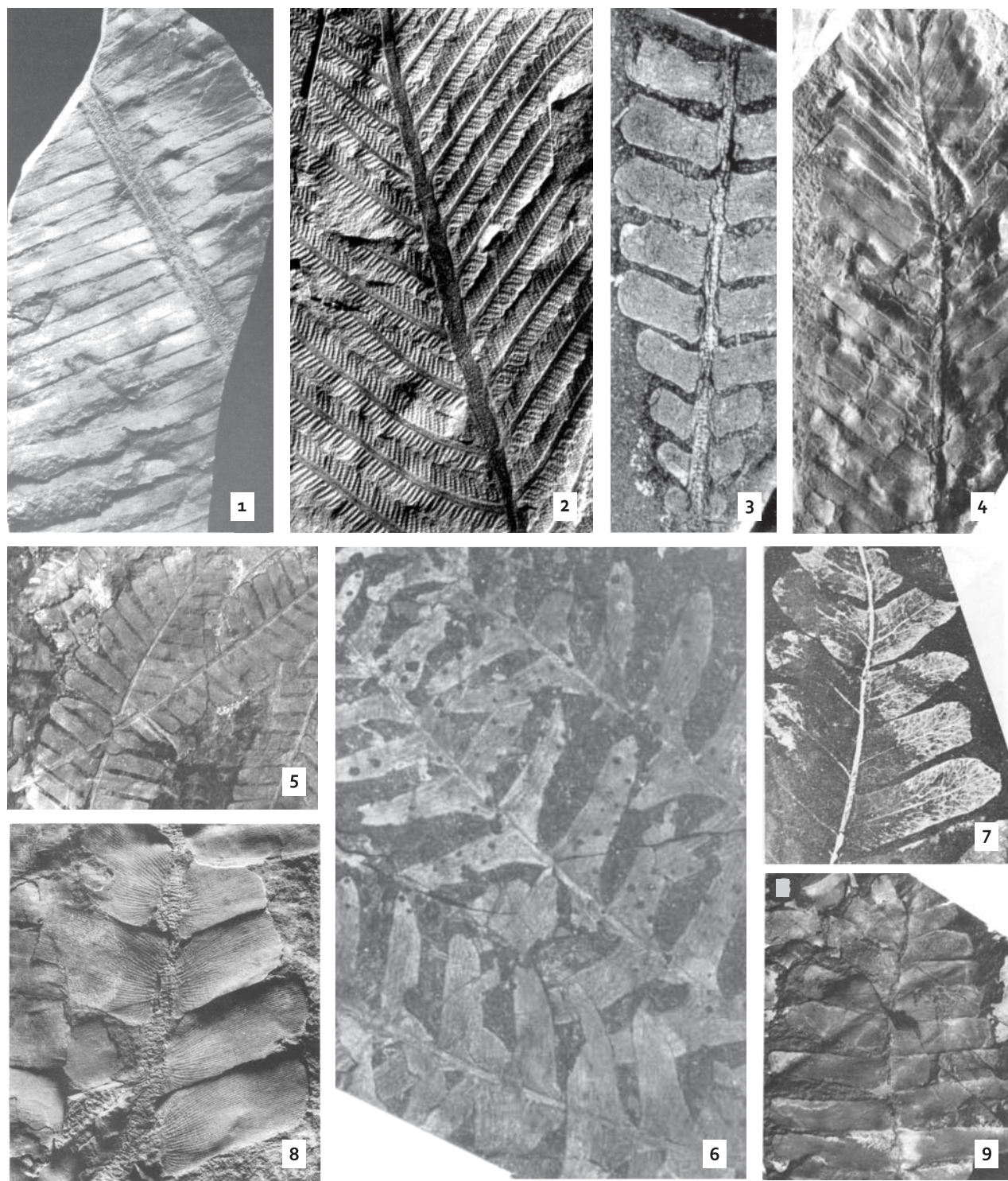


Figura 8. Plantas fósiles de la Formación Santa Clara del Grupo Barranca (Triásico Superior), centro de Sonora. **1)** *Ctenophyllum braunianum* Weber 1997. **2)** *Asterotheca santaclarae* Weber 1997. **3)** *Laurozamites* ex. gr. *fragilis* (Newberry) Weber y Zamudio-Varela, 1995. **4)** *Laurozamites pima* Weber y Zamudio-Varela 1995. **5)** *Laurozamites fragilis* (Newberry) Weber y Zamudio-Varela, 1995. **6)** *Scoresbya pinnata* Weber 1995. **7)** *Cynepteris* Ash 1970. **8 y 9)** *Laurozamites yaqui* Weber y Zamudio-Varela 1995 (ilustraciones tomadas de Weber, 1995, 1997; Weber *et al.*, 1980 y de Weber y Zamudio-Varela, 1995. Los especímenes se muestran a su tamaño natural aproximado).

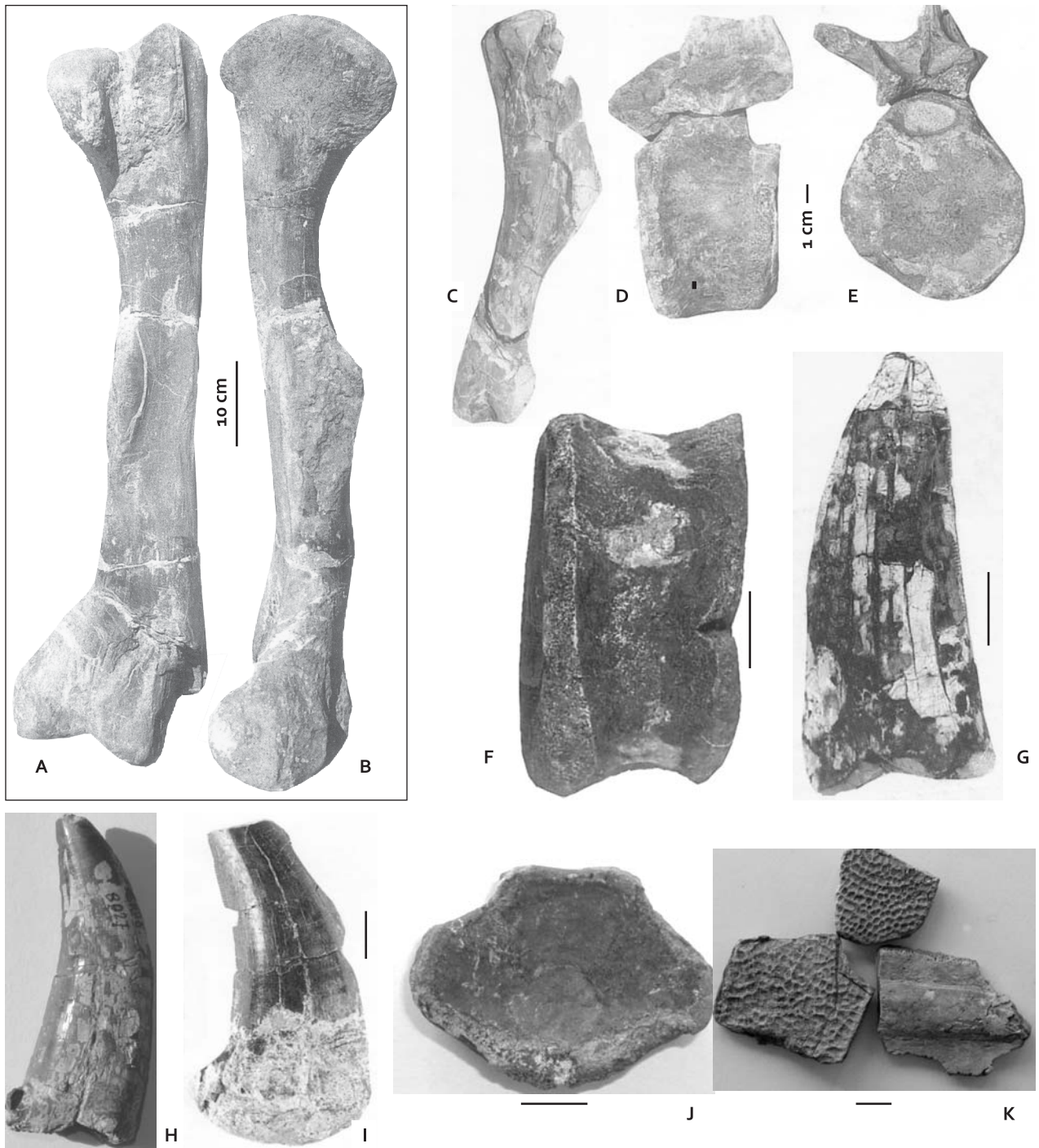


Figura 9. Vertebrados fósiles del Cretácico Tardío del Grupo Cabullona (véase figura 3). **A)** Vista media de fémur izquierdo de dinosaurio hadrosaurio de la formación Corral de Enmedio. **B)** Vista posterior del mismo ejemplar (tomado de Lucas y González-León, 1996a). **C)** Húmero izquierdo de hadrosaurio de la formación Arenisca Camas. **D** y **E**, parte central de una vértebra de hadrosaurio de la Formación Lomas Coloradas; **D)** vista lateral y **E)** vista posterior. **F)** Parte central de vértebra de dinosaurio ceratópido de la formación Lomas Coloradas (vista lateral). **G-I)** Dientes de carnosauros de las formaciones Corral de Enmedio (**H**) y Lomas Coloradas (**G-I**). **J)** Vértebra de pez de la formación Corral de Enmedio. **K)** Fragmentos de caparazón de tortuga de la formación Corral de Enmedio. Las barras de escala miden 1 cm de largo, excepto en figura A.

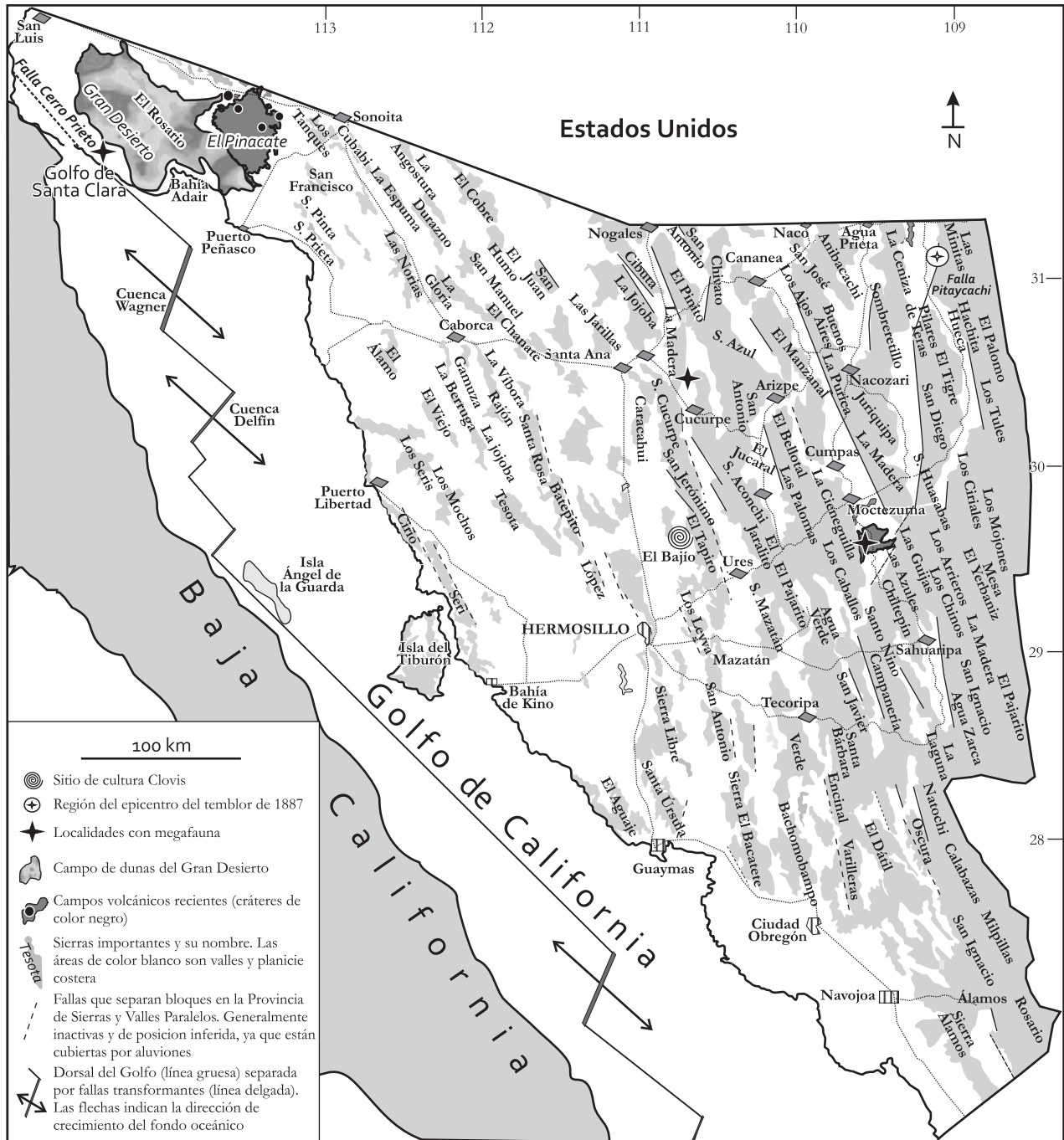


Figura 10. Mapa de Sonora mostrando las principales sierras y valles con sus nombres, los campos con volcanismo reciente, las fallas Pitáyachi y Cerro Prieto, el campo de dunas de arena del Gran Desierto, las localidades más importantes con megafauna del Pleistoceno, las fallas (inferidas con raya discontinua) que produjeron la Provincia de Sierras y Valles paralelos, la dorsal y fallas transformantes asociadas que ocurren en el fondo del Golfo de California y los asentamientos clovis importantes.



Figura 11. A) Terraza marina de ~100 000 años con elevación de aproximadamente 5 m sobre el nivel marino actual en Punta Chueca. B) Detalle de las conchas de bivalvos y gasterópodos bien preservados que componen dicha terraza. C) Imagen tomada de Google Earth; cubre la parte noroccidental del Gran Desierto donde se observan las dunas de formas crecienta orientadas longitudinalmente en dirección noroeste-sureste; en el noreste de la fotografía se observa la sierra Rosario (para localización de esta área véase figura 10).

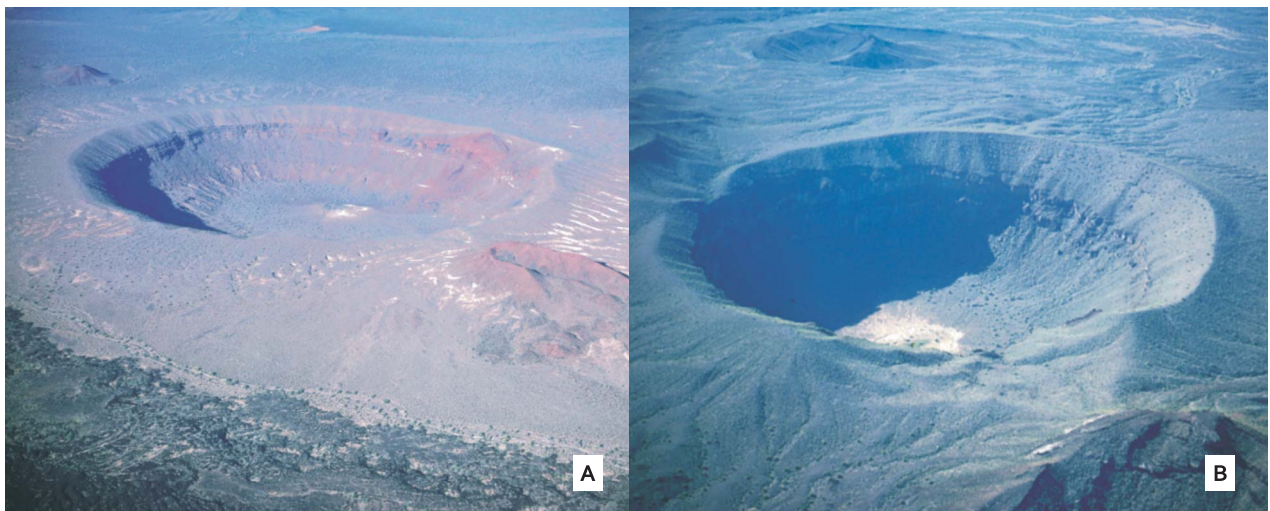


Figura 12. Cráteres más importantes del campo volcánico El Pinacate. A) Cráter Elegante, mide 1 600 m de diámetro y 244 de profundidad. B) Cráter Sykes, mide 1 km de diámetro y 177 m de profundidad.

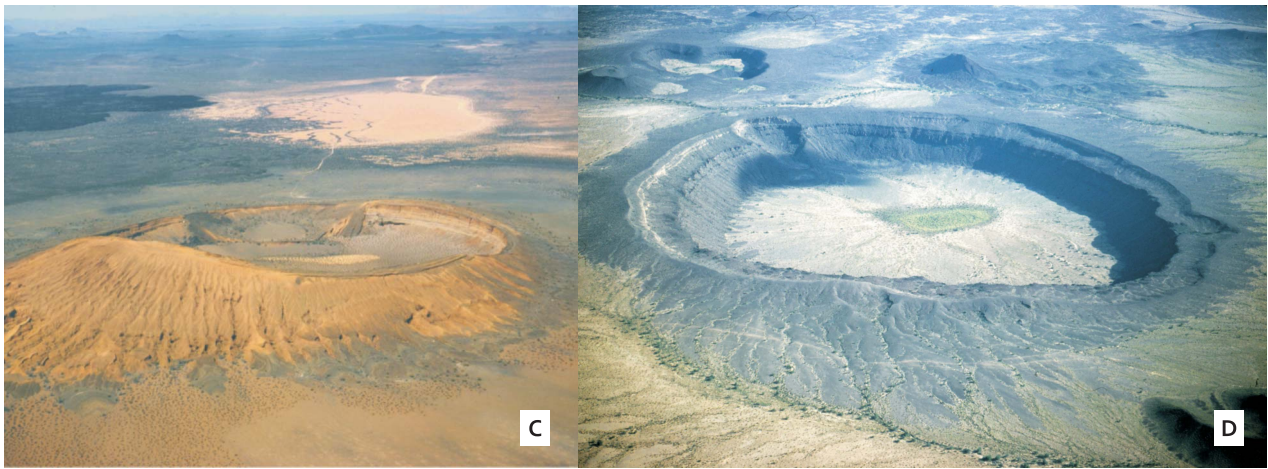


Figura 12 (concluye). C) Cráter Colorado y al fondo una colada de lava. D) Cráter McDougal, tiene ~1 600 m de diámetro y 130 de profundidad; al fondo se observa el cráter Molina (fotos cortesía del Dr. Jim Gutman, Wesleyan University, Connecticut).

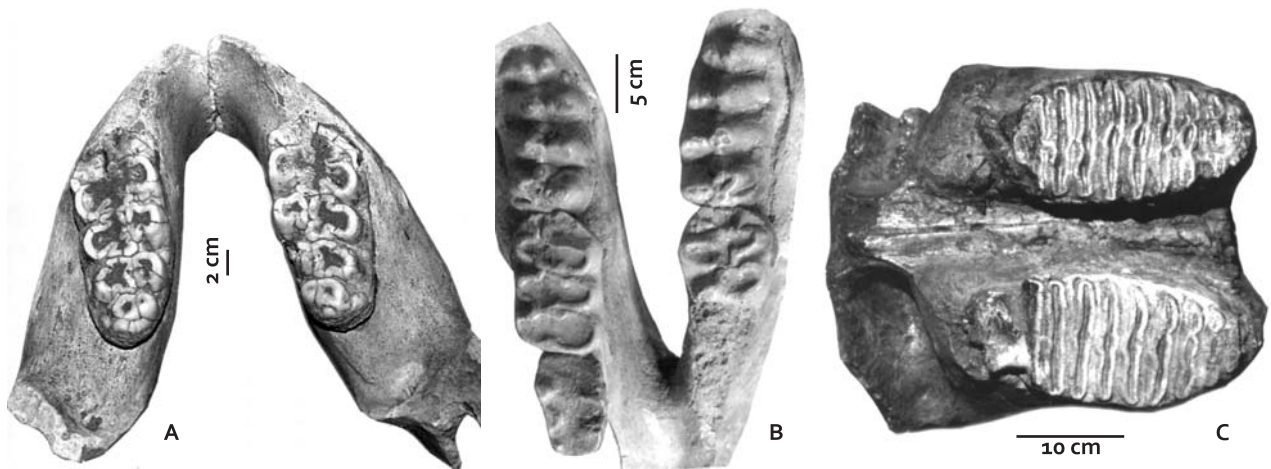


Figura 13. Proboscidos fósiles de Sonora. **A)** Mandíbula inferior de *Cuvieronius* sp. de la región de Oquitoa, Sonora (tomada de Lucas y González-León, 1997). Espécimen en exhibición en el Museo de la Universidad de Sonora. *Cuvieronius* fue el proboscido más común durante el Pleistoceno en Norteamérica. **B)** Mandíbula inferior del proboscido *Rhynchotherium browni* (Osborn, 1936) (tomada de Lucas *et al.*, 1997) del Plioceno de San José de Pimas, descubierto en 1911 por Barnum Brown y actualmente resguardado en el Museo de Historia Natural de Nueva York con el número de colección AMNH15550. *Rhynchotherium* fue un proboscido común en Norteamérica durante el Mioceno tardío y el Plioceno tardío, entre ~7 y 2.2 Ma. **C)** Mandíbula superior (paladar) con dentadura de *Mammuthus imperator* Leidy 1858 (tomada de Lucas y González-León, 1996b). Los mamuts emigraron de Asia a Norteamérica entre 1.8 a 1.6 Ma. Ejemplar encontrado en 1929 en la región de Arizpe y actualmente resguardado en el Museo de Historia Natural de Nueva York.

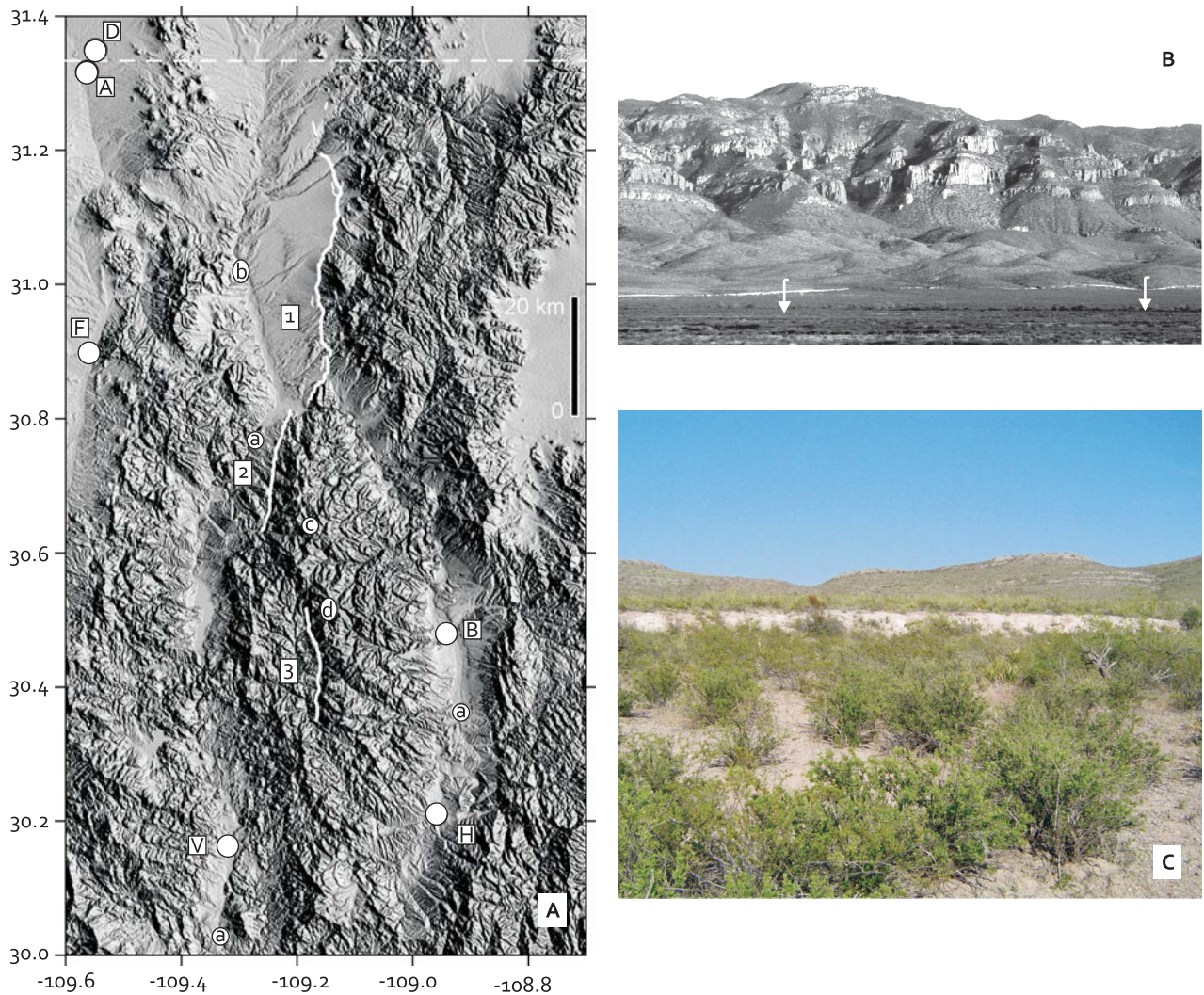


Figura 14. Falla Pitáycachi, también llamada falla Batepito. **A)** Modelo de elevación digital de la parte noreste de Sonora que muestra la traza (línea blanca) de la ruptura de la falla Pitáycachi que causó el temblor de 1887; 1, segmento de la falla Pitáycachi y su continuación con 2, el segmento de la falla Teras; 3, segmento de la falla Otates. A: Agua Prieta, B: Bavispe, D: Douglas, F: Fronteras, H: Huachineras, V: Villa Hidalgo; a: Río Bavispe, b: Río San Bernardino fluyendo hacia el sur a lo largo del valle del mismo nombre, c: Sierra El Tigre, d: Sierra Pilares de Teras; la línea discontinua indica el límite entre México y Estados Unidos. (fotografía cortesía del Dr. Max Suter, modificada de Suter y Contreras, 2002). **B)** Superficie de ruptura de la falla Pitáycachi (de color blanco indicada por la flecha) ubicada en el margen oriental del valle San Bernardino (fotografía tomada desde el valle, viendo hacia el oriente). La sierra al fondo expone las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental en posición horizontal y los cañones El Capadero (izquierda) y Pitáycachi (derecha) (fotografía cortesía del Dr. Max Suter). **C)** Detalle del escarpe o salto de la falla Pitáycachi (de aproximadamente 4 m de alto) en localidad ubicada a 1 km al sur del rancho El Álamo. Al fondo se observan calizas de la Formación Mural del Cretácico Inferior en el cerro Caloso.

LOCALIDADES DE VERTEBRADOS FÓSILES DEL NEÓGENO (MIOCENO, PLIOCENO Y PLEISTOCENO): UNA EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA BIODIVERSIDAD DEL PASADO

RICHARD S. WHITE,¹ JIM I. MEAD,² ARTURO BAEZ³ Y SANDRA L. SWIFT²

RESUMEN. En este capítulo se describen 64 localidades fósiles del Neógeno del estado de Sonora, México, incluyendo al Hemingfordiano, Hemphilliano, Blanco, Irvingtoniano y Rancholabreano de las edades de Mamíferos Terrestres de Norteamérica. Para cada localidad se proporcionan listas de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Se hace una evaluación preliminar de la biodiversidad de vertebrados durante el Pleistoceno basada en faunas de edades Irvingtoniana y Rancholabreano. Los anfibios y reptiles eran tan diversos como en la actualidad; de las aves se conoce muy poco de los sitios fósiles con excepción de Térapa, donde 16% de la avifauna representa a especies hoy extintas. La diversidad de mamíferos durante el Pleistoceno fue mayor que en la actualidad, con numerosas extinciones entre los mamíferos grandes. De los mamíferos pequeños todavía se conoce muy poco de la mayoría de los sitios, los cuales representan hallazgos aleatorios de huesos de mamíferos grandes. El estado de Sonora posee una ubicación geográfica única para proporcionar evidencia sobre el período del Gran Intercambio Biótico Americano, así como los límites biogeográficos fluctuantes durante el Pleistoceno.

ABSTRACT. Sixty-four Neogene fossil localities are described from Sonora, Mexico, including those of Hemingfordian, Hemphillian, Blanco, Irvingtonian and Rancholabrean North American Land Mammal Ages. Amphibians, reptiles, birds and mammals are listed for each locality. A preliminary assessment of vertebrate biodiversity during the Pleistocene is offered based on faunas of Irvingtonian and Rancholabrean age. Amphibians and reptiles were about as diverse as they are today; birds are poorly known from the fossil sites with

the exception of Térapa, where 16% of the avifauna represents extinct species. Mammalian diversity during the Pleistocene was greater than it is today, with numerous extinctions among the large mammals. Small mammals are as yet poorly known from most sites, which represent chance finds of large mammal bones. Sonora is uniquely positioned geographically to provide insight into the timing of the Great American Biotic Interchange, as well as into fluctuating biogeographical boundaries during the Pleistocene.

INTRODUCCIÓN

En un estudio de 1948 de los fósiles mexicanos de la Edad de Hielo (Cuaternario) se reportó un solo taxón de Sonora –*Mammuthus* de cerca de Arizpe (Maldonado, 1948). Silva-Bárceñas (1969) publicó un estudio de localidades de vertebrados fósiles de México enlistando sólo cuatro localidades para Sonora, tres de las cuales fueron referidas al Plioceno o Pleistoceno. En 1984 Lindsay publicó un listado de las localidades de vertebrados conocidas del Cenozoico Tardío (Neógeno: Mioceno, Plioceno y Pleistoceno; véase figura 1 para más información) del noroeste de México. De estas localidades, solamente cinco están en el estado de Sonora: Tubutama y Yécora (Mioceno), San José de Pimas (Plioceno: Hemphilliano-Blanco Edad Mamífero Terrestre Norteamericana, NALMA), el Golfo de Santa Clara (Plioceno: Irvingtoniano NALMA) y Arizpe [Pleistoceno (Cuaternario): Irvingtoniano-Rancholabreano NALMA]. Hasta entonces, ése era el conocimiento disponible sobre los depósitos de fósiles Neógenos de Sonora. Más tarde Arroyo-

¹ International Wildlife Museum.

² East Tennessee State University.

³ University of Arizona.

Cabrales *et al.* (2002) mencionan que 17 localidades Cuaternarias (2.2% de las localidades del Cuaternario conocidas en México) son de Sonora. Aunque este es un incremento en depósitos del Pleistoceno, Miller y Carranza-Castañeda (2002) muestran que las localidades del Neógeno aún son pocas en el estado. Nosotros encontramos que Sonora no carece de depósitos fósiles del Neógeno, sino que éstos no han sido registrados, analizados o publicados de una manera adecuada.

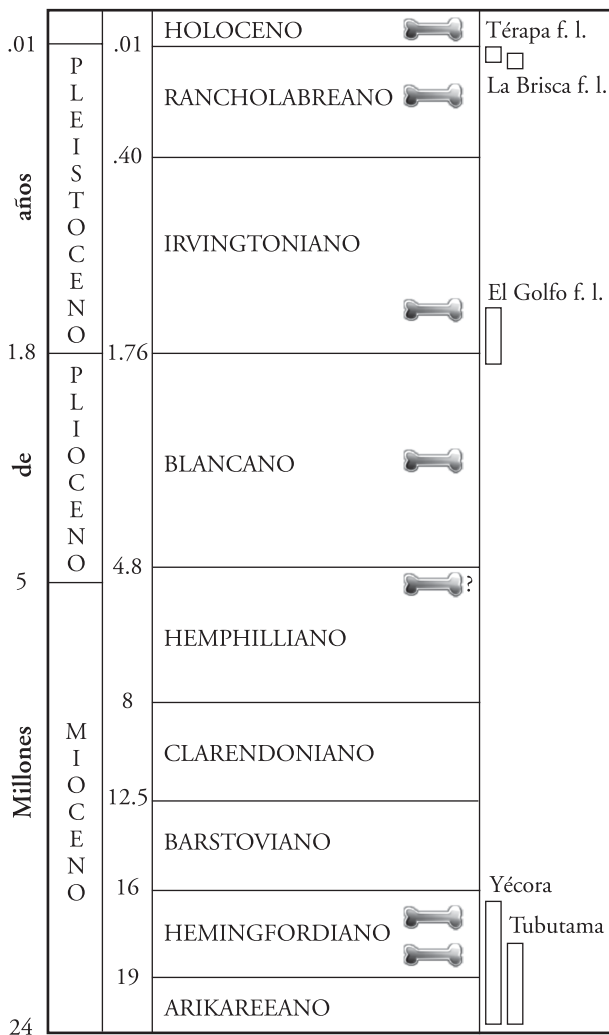


Figura 1. Escala de tiempo usada en esta publicación. Adaptada de Tedford *et al.* (2004) para el Mioceno (Arikareeano a Hemphilliano) y de Bell *et al.* (2004) para el Plioceno y el Pleistoceno (Blancano a Rancholabreano) a excepción del límite Blancano-Irvingtoniano, el cual ubicamos en la parte superior del subcrono Olduvai, fechado en 1.76 Ma, en vez de la fecha de 1.35 Ma preferida por Bell *et al.* (2004). El símbolo indica que se conocen sitios con fósiles, o que posiblemente son conocidos, de ese período; las localidades bien estudiadas o bien fechadas se indican en la columna de la derecha.

En este capítulo presentamos un resumen de la información conocida (literatura publicada, apuntes de campo, ejemplares de museo, etcétera) sobre los depósitos de fósiles del Neógeno en el estado de Sonora. Aunque hay muchas más localidades «conocidas» en Sonora que las reportadas anteriormente, el nivel de conocimiento sobre estos depósitos y faunas continúa en su infancia. La taxonomía y nombres comunes de los animales se presentan en la tabla 1. La nomenclatura taxonómica es la misma que la del autor original a menos que se explique.

LA BIODIVERSIDAD EN EL PASADO

Hay muy pocas faunas conocidas del Mioceno (Arikareeano Tardío-Hemphilliano Medio) o del Plioceno (Hemphilliano Tardío hasta el Blancano) de Sonora para poder hablar de modo significativo sobre la biodiversidad en esos períodos. Es evidente que la región contiene faunas de esas edades tempranas del Neógeno y quizás proporcionen con seguridad un registro valioso como ha sucedido con restos similares más al sur (Miller y Carranza-Castañeda, 2001 y 2002; Carranza-Castañeda y Miller, 2004). Es obvio que el estado necesita una exploración sistemática y análisis detallados de estos períodos más tempranos. La fauna Irvingtoniana de El Golfo es extensiva; sin embargo, no se conocen otras faunas de edad Irvingtoniana en Sonora, y muy pocas localidades Irvingtonianas se conocen del vecino estado de Arizona (Lucas y Morgan, 2005). En contraste, se cuenta con suficientes datos disponibles del Rancholabreano (350 000-10 000 ap) que nos permiten una medida de biodiversidad durante ese período.

Los reptiles y anfibios fueron probablemente tan diversos en el Pleistoceno en Sonora como lo son actualmente, con la extinción de varias especies de tortugas grandes en los géneros *Hesperotestudo* y *Gopherus*. Algunos reptiles y anfibios son indicadores sensibles de ambientes más tropicales o por lo menos húmedos; tales especies han sido identificadas del rancho La Brisca (Van Devender *et al.*,

1985). Aunque no se han estudiado en detalle las ranas, sapos, lagartijas y serpientes de Térapa, la presencia de *Crocodylus* cf. *acutus* por lo menos 280 kilómetros tierra adentro desde el Golfo de California es muy interesante (Mead *et al.*, 2006).

Entre las aves las extinciones son muy raras y éstas principalmente ocurren en aves de cuerpos grandes, esencialmente depredadores y de rapiña. En general se conocen pocos fósiles de aves de Sonora (debido a falta de muestreos) pero se conoce una fauna diversa con 31 especies de aves no paserinas de Térapa, de las cuales alrededor de cinco (16%) están extintas (Steadman y Mead, s.f.). Siete especies de aves, de las cuales dos (28.6%) están extintas, fueron recobradas del otro único sitio muestreado extensamente: Rancho La Brisca (Van Devender *et al.*, 1985).

La diversidad de mamíferos durante el Pleistoceno fue más grande que la actual, con la diversidad adicional compuesta principalmente de mamíferos grandes (más de 100 kg), muchos de los cuales se extinguieron al final del período Rancho Labreano. Las faunas sonorenses conocidas se componen principalmente de estos mamíferos grandes, ya que sus restos óseos son fáciles de observar y los más probables de descubrir como fósiles (Carranza-Casteñeda y Roldán-Quintana, 2007). El tamizado en húmedo de los restos de vertebrados pequeños consume mucho tiempo y se ha implementado en sólo dos sitios: Rancho La Brisca y Térapa.

Los proboscidios se reportan de 38 (63.3%) de los sitios sonorenses, caballos de 28 (46.7%), bisonte (el taxón característico que define la edad mamífera terrestre Rancho Labreano de finales del Pleistoceno) de 21 (35.0%) y camellos de 13 (21.7%). Éstos son los mamíferos reportados más comúnmente y también son los cuatro mamíferos grandes más conocidos.

La información disponible muestra de manera significativa que se han recobrado 51 taxones en Rancho La Brisca y se han identificado por lo menos 71 taxones de vertebrados hasta ahora en Térapa, mientras que otros sitios tienen cinco o menos taxones. Es evidente que la exploración siste-

mática con énfasis en la colecta e identificación de restos de vertebrados pequeños aumentará significativamente la comprensión y apreciación de toda la biodiversidad del Neógeno de Sonora.

Actualmente el estado de Sonora constituye una parte importante de la transición de las regiones más tropicales de México a los desiertos del suroeste árido de Estados Unidos. Sonora indudablemente mantiene una posición fisiográfica y ecológica igualmente importante en las comunidades de vertebrados durante todo el Neógeno. Los registros existen, pero muy poco se ha estudiado en forma intensiva. Todavía no se resuelve si estas comunidades anteriores fueron simples desplazamientos de representativos modernos o un mosaico de comunidades muy diferentes de las que actualmente se conocen. Del mismo modo, aún no se aclara el papel de los climas cambiantes del Pleistoceno en la estructuración de estas comunidades.

Un aspecto que necesita atención detallada en Sonora es determinar la extensión geográfica de *Bison* durante el Holoceno y períodos históricos (Mead y Johnson, 2004; List *et al.*, 2007). *Bison* es el taxón que define la edad de los mamíferos terrestres del Rancho Labreano; también está presente en la región durante los últimos milenios. Todavía no se ha establecido el período de su arribo durante el Rancho Labreano, su extinción al final del mismo y su recolonización en tiempos más recientes.

Finalmente, los registros fósiles de Sonora proporcionarán evidencia crítica sobre la caracterización del Gran Intercambio Biótico Americano entre América del Norte y América del Sur. Recientemente se ha sugerido un intervalo significativo de tiempo durante la dispersión animal hacia el norte, al pasar por México (Flynn *et al.*, 2005; Woodburne, 2006), en base principalmente de la comparación entre los registros fósiles del centro de México y los del suroeste de Estados Unidos y Florida. Se conocen pocos ensamblajes fósiles muy bien fechados de la región entre estas dos áreas. El estado de Sonora está en una posición única para proporcionar datos que ayuden a examinar y refinar esta hipótesis.

LOCALIDADES

Las localidades fósiles de Sonora están arregladas según la Edad Mamífero Terrestre Norteamericana (Bell *et al.*, 2004; Tedford *et al.*, 2004). El número en paréntesis indica la localidad en el mapa (figura 2). La ubicación de los sitios son aproximaciones, especialmente cuando varios sitios están muy cercanos, y para cada localidad se enlista el nombre del municipio. En algunos casos se proporcionan referencias geográficas para sitios antes no publicados, localizados por Howard Scott Gentry a finales de la década de 1930 cuando colectó para el Frick Laboratory en el American Museum of Natural History (Nueva York). La cuenca del río donde se localiza el sitio se encuentra en corchetes al final de cada registro; y cuando se menciona más de un río, el sitio se localiza en el primer río, el cual

es un afluente del siguiente. Este formato servirá para ubicar los sitios en una perspectiva regional general, al mismo tiempo que se protege la ubicación precisa de los sitios. Los datos sobre los depósitos y fósiles mencionados más abajo se tomaron conforme con los que se cita en las publicaciones y del examen, principalmente por R.S. White, de ejemplares y libretas de campo depositados en el American Museum of Natural History (AMNH); el University of Arizona Laboratory of Paleontology (UALP); la Universidad de Sonora, Museo y Biblioteca, Hermosillo (Unison) y Northern Arizona University, Quaternary Sciences Program, Laboratory of Quaternary Paleontology (NAU QSP).

Excepto cuando se explique, no se han realizado o publicado estudios formales de la fauna, cronológicos, estratigráficos o geológicos. Las definiciones de las edades geológicas y el tiempo que com-

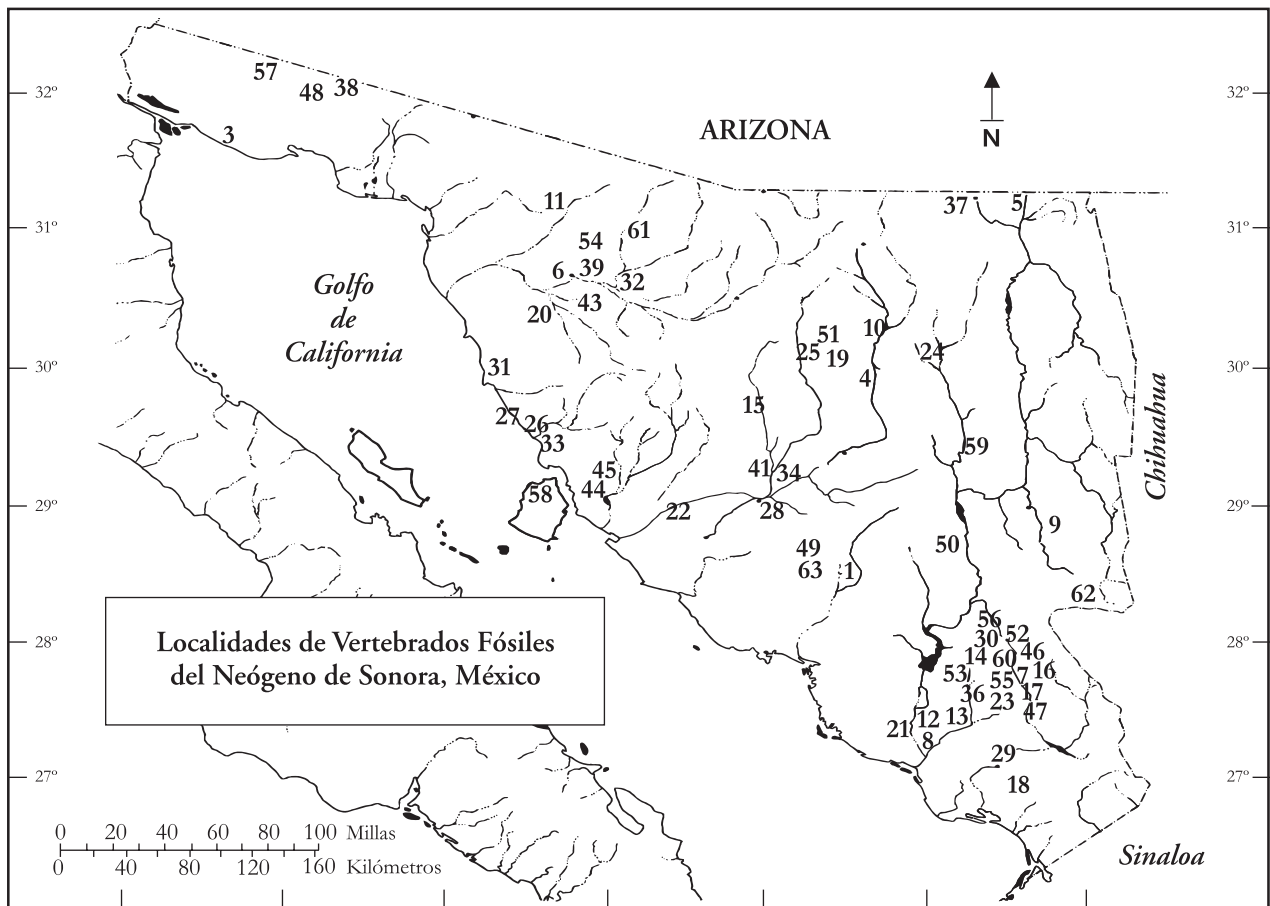


Figura 2. Localidades de vertebrados fósiles del Neógeno de Sonora, México. Los números indican la ubicación aproximada de las localidades.

prenden principalmente son las usadas por Bell *et al.* (2004) y Tedford *et al.* (2004).

LOCALIDADES DEL NEÓGENO TEMPRANO (MIOCENO)

Tubutama (Localidad 61, Municipio de Tubutama). Lindsay (1984) reportó una mandíbula de un camello pequeño hipsodonte de esta localidad, cerca de 80 km (50 millas) al suroeste de Nogales en la frontera México-Estados Unidos. Lindsay se refirió a este camello como «muy similar a *Stenomylus* de la fauna Arikarean Wellton en Arizona» (Lindsay, 1984). Ferrusquía-Villafranca (1990) nombró este camello *Stenomylus tubutamensis*, aparentemente por considerarlo de una edad de principios del Hemingfordiano. El género se conoce de depósitos del Mioceno Temprano en Norteamérica (McKenna y Bell, 1997), pero tiene una distribución más amplia que la mencionada por Ferrusquía-Villafranca, habiendo sido reportado de Wyoming, Nebraska, Montana y California, además de los estados meridionales de Arizona, Nuevo México y Texas (Honey *et al.*, 1998). El material descrito por Ferrusquía-Villafranca (1990) es suficientemente distinto del material de *Stenomylus* encontrado en Wellton y depositado en el AMNH para indicar que éstos al parecer no son la misma especie, según observaciones de R.S. White. La información estratigráfica y cronológica disponible para el sitio de Tubutama en Ferrusquía-Villafranca (1990) es la mejor de todos los sitios del Neógeno enlistados allí. Ha sido colocado por datos radiométricos en 22.3 Ma por el basalto debajo del depósito y 7 Ma por el basalto encima del mismo; Ferrusquía-Villafranca calculó la edad del fósil como más cercana a la del basalto inferior. [Río Altar]

Yécora (Localidad 62, Municipio de Yécora). Álvarez (1963) describió una especie nueva de lagomorfo, *Archaeolagus sonoranus*, basándose en una mandíbula de Yécora, 160 km (100 millas) al suroeste de Hermosillo. Ferrusquía-Villafranca (1990) refirió la mandíbula a *Hypolagus sonoranus* (Álvarez); asimismo, sugirió que la especie era relativa-

mente primitiva, con un fechado de finales del Hemingfordiano conforme a bases bioestratigráficas. [Río Yaqui]

Las localidades del Neógeno Temprano están representadas por solamente dos sitios con únicamente un taxón reportado. Las sierras del centro y sur de Sonora con seguridad revelarán localidades adicionales cuando se les explore de una manera intensiva.

HEMPHILLIANO TARDÍO O BLANCANO NALMA (PLIOCENO)

San José de Pimas (Localidad 1, Municipio de La Colorada). Barnum Brown en 1911 colectó una mandíbula inferior completa de *Rhynchotherium* de una localidad ubicada 0.4 km (0.25 millas) al norte de San José de Pimas. Este ejemplar (AMNH 15550) inicialmente fue identificado como el «neotipo» de *R. tlaxcalae* (supuestamente en Osborn, 1921), más tarde se identificó como el ejemplar tipo de *R. browni* (Osborn, 1936). Se publican fotografías nítidas de este ejemplar en Lucas *et al.* (1997). *Rhynchotherium* se conoce únicamente de depósitos del Hemphilliano Tardío y del Blancano en zonas templadas de Norteamérica (Lambert y Shoshani, 1998; Pasenko, 2007). Lindsay colectó fragmentos de un colmillo proboscideo en depósitos fluviales situados 10 km (6.2 millas) al sur del pueblo (Lindsay, 1984), pero no observó o colectó otros fósiles. Se desconoce si esta localidad y la localidad donde Brown colectó la mandíbula de *Rhynchotherium* tienen la misma edad. Un carapacho y plastrón incompleto de una tortuga grande testudínea, *Gopherus/Hesperotestudo*, depositado en la colección de la Universidad de Sonora tiene como localidad el Km 64 de la Carretera Federal México 16 Hermosillo-Yécora; así, esta información lo ubica cerca de San José de Pimas. [Río Mátape]

Minas Prietas (Localidad 63, Municipio de La Colorada). John C. Blick visitó Sonora a principios de 1932 con el fin de localizar un cráneo proboscideo completo que había sido reportado ahí.

Blick se enteró de que el cráneo había sido desenterrado varios años antes ca. 14.4 km (9.0 millas) al sur de Minas Prietas y que se había quebrado cuando trataron de quitarle los dientes. Lo que quedaba del cráneo era un M3 incompleto y Blick lo colectó para depositarlo en el American Museum of Natural History (F:A.M. 233339). Frick (1933) identificó este diente incompleto como *Rhynchotherium tlaxcalae*. Si efectivamente es *Rhynchotherium*, cuando sea fechado podría ser de finales del Hemphilliano o del Blancano. [Río El Represito]

Sitio Vargas (Localidad 64). No se proporciona localidad para UALP-7300, el cual supuestamente contiene *Nannippus*, según registros de UALP. No hemos podido localizar este ejemplar y este sitio no se muestra en nuestro mapa. *Nannippus* no ocurre en Arizona después de 2.2 Ma, fecha de extinción de *Nannippus* en Lindsay *et al.* (1984).

Otros sitios. A finales de la década de 1930 Gentry visitó y registró varios sitios en las riberas de los ríos Mayo y Yaqui y sus afluentes, los que identificó como posiblemente del Plioceno. Sin embargo, él no colectó fósiles, sólo tomó algunos apuntes y dibujó secciones de los depósitos en su libreta de campo; no hemos incluido estos sitios en este trabajo. Hemos observado depósitos en un área al norte de Térapa, los cuales quizás también sean del período Blancano, pero todavía no los hemos explorado. El descubrimiento de localidades del Hemphilliano y Blancano en el norte de México es crítico para entender el tiempo y naturaleza del Gran Intercambio Biótico Americano que se dio después de que se estableció el puente terrestre panameño. Existe un intervalo considerable entre el momento en que los taxones emigrantes de América del Sur aparecieron inicialmente en el centro de México y el tiempo en que se conocen del Suroeste Americano. El norte de México será fundamental para determinar si este intervalo es real, representa un artefacto del registro fósil o simplemente es resultado del hecho de que los registros de Centroamérica, incluyendo México, son hasta el día de hoy lamentablemente deficientes (Woodburne, 2006).

IRVINGTONIANO NALMA (PLEISTOCENO TEMPRANO Y MEDIO)

El Golfo de Santa Clara (Localidad 3, Municipio de San Luis Río Colorado). Las formaciones sedimentarias de El Golfo se localizan en la costa norte del Golfo de California norte, 145 km (90 millas) al sur de Yuma, Arizona. La localidad de fósiles limita al noreste con el Gran Desierto de Altar, al suroeste con dunas costeras y la costa en el Golfo, al noroeste con las planicies cenagosas saladas del delta moderno del río Colorado y al sureste con fallas (Shaw *et al.*, 2005). Los depósitos de fósiles están en la transición de la fractura entre la placa Norteamericana y la del Pacífico. Los sedimentos de El Golfo están indiferenciados con descripciones informales y sólo unas cuantas investigaciones publicadas (véase referencias en Shaw *et al.*, 2005). De esta localidad única tan sólo se conoce un estudio preliminar intensivo de la fauna (Shaw, 1981; Lindsay, 1984; Shaw y McDonald, 1987; Shaw *et al.*, 2005; Croxen *et al.*, 2007; Roeder, 2007). El animal más interesante desde el punto de vista biogeográfico descrito hasta ahora de El Golfo es el oso hormiguero gigante (*Myrmecophaga tridactyla*), ca. de 3 000 km (1 800 millas) al noreste de su distribución actual en Centro y Suramérica (Shaw y McDonald, 1987). Queda mucho que estudiar y entender sobre este depósito y su fauna. [Río Colorado]

Se conoce muy poco sobre los depósitos Irvingtonianos de Sonora y la zona adyacente de Arizona. Es posible que algunos de los depósitos en la sección siguiente sean Irvingtonianos, pero debido a que las faunas aún no contienen taxones cronológicamente significativos, no podemos ubicarlos con precisión. Toda vez que ocurren en las mismas áreas y en sedimentos similares que varias faunas que contienen *Bison* sp. las hemos agrupado con las faunas Rancholabreanas (*Bison* siendo el taxón que define Rancholabreano). Si uno acepta la ubicación adoptada por Bell *et al.* (2004) para el límite Blancano-Irvingtoniano en 1.35 Ma, entonces con seguridad no existen faunas fechadas con una edad Irvingtoniana de Sonora o Arizona.

RANCHOLABREANO NALMA (PLEISTOCENO TARDÍO)

Aconchi (Localidad 4, Municipio de Aconchi). Esta localidad se ubica en el río Sonora cerca de 100 km (62.1 millas) al noreste de Hermosillo. Un cráneo incompleto de *Mammuthus* se llevó a UALP para su identificación. [Río Sonora]

Agua Prieta (Localidad 5, Municipio de Agua Prieta). Alumnos de la escuela secundaria de Agua Prieta han colectado fósiles en depósitos locales, pero se desconoce la localidad precisa donde los colectaron. Entre los restos colectados se incluyen seis molares (Unison) de *Mammuthus*, probablemente *M. columbi*. [Río Agua Prieta (Río Bavispe, Río Yaqui)]

Altar (Localidad 6, Municipio de Altar). Un molar de *Mammuthus* en la colección de la Universidad de Sonora es de un sitio en la región de Altar de acuerdo a la etiqueta. [Río Altar]

Angostura, La (Localidad 7, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia G12B16). Un depósito pequeño de sedimentos arcillosos localizado a 3-5 km (1.9-3.1 millas) al noreste del Rancho y entre Tesopaco y Cedros. *Mammuthus*, *Bison*, *Equus*, un camello y un gonfoterio fueron colectados por Gentry (AMNH). [Río Cedros (Río Mayo)]

Areniscas, Las (Las Arenas en algunos mapas) (Localidad 8, Municipio de Cajeme). Esta localidad, justo al noreste de Ciudad Obregón, contiene un pequeño ensamble de fauna, principalmente mamíferos grandes. Se identificó *Bison* y *Cuvieronius* de una colecta pequeña hecha en el sitio en 1976; la presencia de bisonte sugiere una edad RLB para la fauna. Basándose en la cantidad de mamíferos grandes recuperados se debería visitar la localidad de nuevo e implementar un procedimiento de lavado de los sedimentos en tamiz húmedo usando cribas de 500 μm . Un estudio preliminar de la localidad fue hecho por miembros del Centro Noroeste del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), con la participación de R.S. White. El cráneo colectado del gonfoterio *Cuvieronius* se encuentra en exhibición en Ciudad Obregón. [Río Yaqui]

Arivechi (Localidad 9, Municipio de Arivechi).

Este es un depósito de grava localizado en un sitio próximo a Arivechi, cerca de 10 km (6.2 millas) al sur de Sahuaripa. Se colectó un cráneo incompleto de *Bison* (Unison) a una profundidad de 4 m (13.1 pies). El diámetro de la base del cuerno derecho es de 42.5 cm y la longitud de la curva interior de 56 cm. Estas medidas son similares a las de *B. antiquus* reportadas por Skinner y Kaisen (1947). [Río Sahuaripa (Río Yaqui)]

Arizpe (Localidad 10, Municipio de Arizpe). Varios vertebrados fósiles han sido encontrados en los alrededores de Arizpe en el río Sonora y su afluente al noroeste, el río Bacanuchi. Se desconoce cuántos depósitos sedimentarios fosilíferos existen y cuántos han sido muestreados en esta región, referida generalmente como «Arizpe». La edad de los restos recuperados de esta región es imprecisa y se considera como Irvingtoniano-Rancholabreano hasta que se publiquen evaluaciones adicionales. Osborn (1929 y 1942) identificó *Mammuthus* (*Archidiskodon*) *sonoriensis* basándose en restos colectados cerca de 2 km al noreste («1 milla al este») de Arizpe (Rancho el Basimachi). Lucas y González-León (1996) creen que este taxón es una sinonimia más joven de *Mammuthus imperator*. La colección de AMNH también incluye un ejemplar (FM 22612) de un gonfoterio identificado como *Ocalientinus floridanum*, probablemente por Osborn. *Ocalientinus* es considerada como sinonimia de *Gomphotherium* por Lambert y Shoshoni (1998). *Gomphotherium* se desconoce del Blancano de acuerdo a Lambert (1996), pero se enlistó como que ocurre al final del Blancano en Lambert y Shoshoni (1998). Dada la dificultad para identificar fragmentos dentales de gonfoterios, este ejemplar debe de examinarse críticamente de nuevo. Si es *Gomphotherium* o *Rhynchotherium*, indicaría Blancano u otra edad más temprana para algunos de los fósiles del área de Arizpe. Si la identificación es *Cuvieronius* indicaría una edad del Pleistoceno.

Craycroft (1968), Rea (1980) y Steadman (1980) analizaron un ejemplar solitario de pavo colectado en la región y lo describieron como *Meleagris gallopavo*. Los restos de una tortuga en UALP no se han estudiado en detalle, pero parecen ser del gé-

nero *Trachemys*. La etiqueta del ejemplar AMNH 22637, el tipo de *Archidiskodon sonoriensis*, indica que éste se encontró con *Equus* sp. y *Bison* sp., así como con el ejemplar de *Meleagris* mencionado anteriormente. La presencia de *Bison* indica que por lo menos parte del material es de edad Rancholabreano. No se han realizado o publicado análisis detallados geológicos, estratigráficos, cronológicos o faunísticos, aunque se proporciona información geológica preliminar en Lucas y González-León (1996). Se requieren análisis adicionales para apreciar completamente la importancia de esta área y sus depósitos. [Río Sonora]

Arroyo de Humo (Localidad 11, Municipio de Altar). Esta área, ubicada en el río Altar, 48-56 km (30-35 millas) al noroeste de Altar, fue visitada por Gentry en 1938. Se le informó del descubrimiento de un hueso de una extremidad de proboscideo y, después de una exploración intensiva, sólo encontró un diente de *Bison* (AMNH). [Río Altar]

Bachoco (Localidad 12, Municipio de Cajeme; Mapa de Referencia G12B24). Actualmente esta localidad está cubierta por las aguas de la Presa Álvaro Obregón (= Oviachic), al noreste de Ciudad Obregón. Anteriormente fue un área extensa de calizas arcillosas cortadas por el camino viejo de Tesopaco (Rosario) a Ciudad Obregón. Gentry colectó *Equus*, dos especies de camello, *Bison*, *Mammuthus* y quizás un gonfoterio [AMNH]. Los apuntes recibidos en el Frick Laboratory indican un M3 superior de *Euceratherium* proveniente de este sitio, pero no hemos podido localizar este ejemplar en la colección de AMNH. Sin embargo, en la colección hay un M3 aislado de *Bison* que puede haber sido la base de este registro. [Río Yaqui]

Bajimari (Localidad 13, Municipio de Quiriego; Mapa de Referencia G12B25, en mapas modernos aparece como Bibajimari). Gentry exploró cerca de 32 a 40 hectáreas (80 a 100 acres) de suelos arcillosos, con un poco de grava en el margen, localizadas en el centro del valle. Colectó *Equus*, *Bison*, *Odocoileus*, *Platygonus*, una tortuga no identificada y varios cráneos de roedores (AMNH). [Río Cocoraque]

Botana, La (Localidad 14, Municipio de Rosa-

rio; Mapa de Referencia G12B15). Una colecta pequeña de fósiles actualmente depositada en NAU QSP fue hecha por P. S. Martin y W. G. Spaulding en 1975. Los fósiles colectados por Gentry en 1937 están depositados en AMNH e incluyen *Equus*, *Bison*, *Mammuthus*, *Glyptotherium*, un camello, *Odocoileus*, un antilocáprido, un carnívoro indeterminado y restos de aves no identificados. Recientemente se describió material de un gliptodonte de esta localidad (Mead *et al.*, 2007). La presencia de *Bison* sp. indica una edad Rancholabreano por lo menos para parte de la fauna. Este sitio se ubica cerca de la cuenca del río Cedros (Río Mayo), dentro de la cuenca del río Yaqui, como lo indicó Gentry en una carta enviada a Childs Frick con fecha 17 de mayo de 1936. Yetman *et al.* (1998) publicaron «Probablemente cuenca del río Yaqui». [Río Yaqui]

Carbó (Localidad 15, Municipio de Carbó). Una vértebra (axis) identificada como *Mammuthus* se encuentra en la colección de la Universidad de Sonora. La etiqueta ubica el sitio a 40 km (24.9 millas) al norte de Carbó en la cuenca del río Zanjón. [Río Zanjón (Río San Miguel)]

Carrizal, El (Localidad 16, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia G12B16, referido como «Carisal» en los apuntes de Gentry). Gentry encontró suelos arcillosos negros encima de calizas arcillosas y arcillas lacustres cerca de este aguaje. Colectó *Equus* y *Bison* (AMNH). [Río Cedros (Río Mayo)]

Cedros (Localidad 17, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia G12B16). Gentry colectó *Bison*, *Equus* y *Mammuthus* de muestras dispersas al sureste del pueblo (AMNH). [Río Cedros (Río Mayo)]

Chinobampo (Localidad 18, Municipio de Navjoa; Mapa de Referencia G12B56). Gentry y John C. Blick colectaron fósiles en Chinobampo para Childs Frick del American Museum of Natural History, Nueva York. Se descubrió un cráneo humano en 1937 y se colectó del paredón del arroyo en un depósito lacustre calizo; el ejemplar estaba muy mineralizado. No se han publicado análisis formales geológicos, estratigráficos, cronológi-

cos o de la fauna, aunque se cuenta con apuntes detallados de la estratigrafía, así como fotografías en los Frick Archives del AMNH. La localidad se mencionó brevemente en Arroyo de Anda (1964). *Bison*, un camélido, *Equus* y *Glyptotherium* fueron colectados por Gentry y Blick (AMNH). Recientemente se publicó sobre material gliptodonto de esta localidad (Mead *et al.*, 2007). Los restos humanos serán descritos como parte de un proyecto de investigación de este sitio a cargo de J.I. Mead, R.S. White y otros investigadores. [Río Mayo]

Ciénega de Cabo (Localidad 19, Municipio de Cucurpe). Esta localidad se ubica a orillas del Río Saracachi-Río San Miguel cerca del sitio de fósiles del rancho La Brisca. Actualmente sólo se conoce un colmillo de *Mammuthus* de esta localidad. Los sedimentos sugieren una situación similar a los del rancho La Brisca, con depósitos sedimentarios de grano muy fino situados en el paredón del valle actual, que bien pudiera ser una extensión lateral de ese sitio. [Río Santo Domingo (Río San Miguel, Río Sonora)]

Ciénega, La (Localidad 20, Municipio de Pitiquito). En este sitio, 64 km (40 millas) al suroeste de La Playa, Gentry encontró cerca de 8 ha (20 acres) de «margas de ciénega». Colectó una costilla grande quizás de un proboscido y otros fragmentos de hueso imposible de identificar (AMNH). Hay una localidad conocida como La Ciénega ubicada cerca de 40 km (24.9 millas) al SSE de Caborca, en el río Bámori (T.R. Van Devender, com. per.); es incierto si ésta es la localidad que Gentry visitó. [Río Asunción, según Gentry]

Cócorit (Localidad 21, Municipio de Cajeme). En excavaciones de depósitos de grava y arena se han encontrado bastantes fósiles. En base a observaciones mínimas de la fauna se infiere que contiene elementos de dos edades NALMA distintas. Los restos recuperados incluyen tres fragmentos de mandíbula de *Mammuthus* sp., así como dos molares y una mandíbula de un gonfoterio no identificado (Unison). [Río Yaqui]

Costa de Hermosillo (Localidad 22, Municipio de Hermosillo). La colección de UALP contiene un fragmento de un diente superior de *Equus* con una

etiqueta donde se indica que se recuperó de un pozo con una profundidad de 27 m (90 pies). En general «La Costa de Hermosillo» es el término que se usa para referirse a los terrenos localizados entre Hermosillo y Bahía de Kino, los que se han desarrollado de una forma intensiva para la agricultura desde 1950 con agua de pozos profundos. No se cuenta con más información sobre la localidad precisa. [Río Sonora]

Coyotes, Los (Localidad 23, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia G12B15). Ubicado a 8 km (5.0 millas) al sureste de Tesopaco y donde Gentry descubrió un pequeño depósito de sedimentos de caliza en las laderas cerca del rancho. Según los apuntes de Gentry, un maestro de Tesopaco ca., en 1934, recuperó un hueso grande, probablemente un proboscido. Gentry inicialmente identificó esta localidad como Tesopaco No. 1. [Río Cedros (Río Mayo)]

Cumpas (Localidad 24, Municipio de Cumpas). Un molar solitario de *Mammuthus* (UALP) fue colectado en 1967 por William W. Wasley (Arizona State Museum, Tucson) cerca de Cumpas. [Río Moctezuma (Río Yaqui)]

Cucurpe (Localidad 25, Municipio de Cucurpe). Los restos de un proboscido bunodonte (cf. gonfoterio) fueron colectados por el INAH Sonora de un depósito a orillas del Río San Miguel justo al norte y este del pueblo y fragmentos de un diente fueron observados en la excavación por J.I. Mead y otros investigadores en 2001. [Río San Miguel (Río Sonora)]

Desemboque de los Seris (Localidad 26, Municipio de Pitiquito). R.S. White recuperó varios ejemplares de tortuga *Gopherus* (UALP) en arenas consolidadas debajo de las dunas actualmente activas a 1.5 km (1.0 millas) al sur del poblado. También se recuperaron los restos de un ave y un lagomorfo (NAU QSP). Se desconoce la edad de los restos pero se asume que son más antiguos que el Holoceno en base a la naturaleza compacta de los depósitos sedimentarios. [Costero]

Desemboque del Río San Ignacio (Localidad 27, Municipio de Pitiquito). Esta localidad se ubica 2.5 km (1.5 millas) al norte del Desemboque de

los Seris, donde se han recuperado varios ejemplares de *Geochelone* y *Gopherus* depositados en la colección NAU QSP. Los restos de *Gopherus* son de la cima de dunas endurecidas debajo de dunas activas. Un ejemplar de *Geochelone* se recuperó de los riscos cortados por las olas a orillas de la costa, 1.5 m (5.0 pies) debajo de la cima de la arena endurecida. [Río San Ignacio]

Hermosillo (Localidad 28, Municipio de Hermosillo). Los niveles bajos de agua en ocasiones han expuesto vertebrados fósiles en la presa al este de Hermosillo. Se han colectado de este sitio varios caparachos de tortuga relativamente completos (NAU QSP), así como *Mammuthus* (molde en UALP) y *Equus* (vistos en una colección privada por R.S. White. [Río Sonora]

Jusibampo (Localidad 29, Municipio de Navojoa; Mapa de Referencia G12B35). Gentry encontró un área grande de calizas arcillosas con incrustaciones de caliza, encima de lava basáltica. Gentry recuperó varios dientes de *Equus* (AMNH). [Río Mayo]

Llano Prieto (Localidad 30, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia G12B15). Un valle que Gentry encontró muy similar a La Botana; contiene sedimentos compuestos de calizas arcillosas y grava bajo 6 m (20 pies) de suelo. Gentry reportó *Mammuthus*, *Bison*, *Equus* y *Glyptotherium*, entre otros (AMNH). No hemos podido verificar el reporte de *Glyptotherium* de Llano Prieto. Gentry inicialmente se refirió a este sitio como Tesopaco Localidad No. 3. [Río Cedros (Río Mayo)]

Libertad, La (Localidad 31, Municipio de Pitiquito). Restos faunales fueron colectados por R.S. White (NAU QSP) en varios depósitos en afloramientos superficiales. El afloramiento principal se localiza unos cuantos kilómetros al norte del pueblo y 0.5 km (0.3 millas) tierra adentro de la costa. Los fósiles colectados fueron principalmente de *Gopherus*. [Costero]

Magdalena (Localidad 32, Municipio de Tubutama). Fragmentos de un diente y colmillo de *Mammuthus* fueron colectados por Gentry 40 km (25 millas) al oeste de Magdalena (AMNH). [Río Búsami (Río Altar)]

Marlett Locality, Desemboque de los Seris (Localidad 33, Municipio de Pitiquito). Se hizo una colecta pequeña de fósiles en una localidad a orillas de la costa cerca de 7 km (4.3 millas) al sur del Desemboque de los Seris. Se encuentran los restos fósiles en los afloramientos de las dunas arenosas encima de los riscos cortados por las olas. Se recuperó un caparacho completo de una tortuga pequeña, así como huesos de una víbora crotálica y de un antilocáprido (NAU QSP). [Costero]

Mata de Carrizo, La (Localidad 34, Municipio de Hermosillo). Una vértebra cervical proboscidea (Unison) proviene de esta localidad desconocida, al sureste de Pesqueira. Quizás éste sea el poblado que en mapas actuales aparece como El Carrizo. [Río Sonora]

Mina El Yeso (Localidad 35). Se colectó un fragmento de fémur de un proboscideo (Unison) en esta área. No sabemos en qué parte de Sonora se localiza este sitio y no aparece en nuestro mapa.

Mutica (Localidad 36, Municipio de Quiriego; Mapa de Referencia G12B15). Se colectó un ejemplar solitario de *Bison* (AMNH) en este sitio. Gentry ubicó el sitio en su mapa, pero no lo describió. [Río Cocoraque]

Naco (Localidad 37, Municipio de Naco). Varios restos de *Mammuthus* han sido colectados a través de los años por los lugareños a orillas de Greenbush Draw (un afluente del Río San Pedro) en el lado de Sonora de la frontera México-Estados Unidos. En depósitos cercanos en Arizona se han encontrado partes de esqueletos de *Mammuthus* junto con artefactos de Paleo indios (Haury, 1953). Se desconoce la relación entre los restos sonorenses y los restos de Paleo indios en Arizona. R.S. White ha examinado algunos fósiles cuya preservación sugiere que son más antiguos que los materiales Rancholabreano. Una quijada inferior de *Mammuthus* tiene un conteo dental en el límite inferior de *M. columbi* y en el límite superior de *M. imperator*. También se observaron algunos dientes de *Equus*. No se ha iniciado una colecta sistemática de los restos sonorenses, ni se han hecho estudios geológicos o cronológicos. [Río San Pedro]

O'Neil Pass (Localidad 38, Municipio de Puer-

to Peñasco). Las colectas hechas por Paul Ezell en 1952 durante un muestreo arqueológico incluyen una muestra pequeña probablemente de *Hesperotestudo* (UALP). El depósito (UALP-6722) se localiza 4.8 km (3.0 millas) al norte de O'Neil Pass a orilla de Las Playas. Las Playas se localiza al sur de O'Neil Pass; Las Playas están del lado de Estados Unidos en la frontera, pero parece que el margen sur de Las Playas se extiende hasta Sonora. No sabemos con seguridad si este sitio de hecho se ubica en Sonora, pero lo mostramos como tal en el mapa. [Río Sonoyta]

Oquitoa (Localidad 39, Municipio de Oquitoa). Lucas y González-León (1997) reportaron con ilustraciones una mandíbula inferior y un molar inferior m3 solitario de *Cuvieronius* depositado en la colección de la Universidad de Sonora. Se desconoce la localidad exacta de donde provienen estos ejemplares. Lo hemos anotado como del municipio de Oquitoa, pero podría ubicarse ya sea en el municipio de Átil o en el municipio de Altar, toda vez que el área de ambos se extiende a unos cuantos kilómetros de Oquitoa. [Río Altar]

Pesqueira (Localidad 41, Municipio de San Miguel de Horcasitas). Unos cuantos huesos probablemente proboscidos en la colección Unison provienen de estos depósitos muy poco conocidos en la margen del río Zanjón. [Río Zanjón]

Piedra de Malpais (Localidad 42). Una vértebra grande, fragmentada de un mamífero del tamaño de un *Equus* (Unison), se enlista proveniente de esta región en general. No hemos podido ubicar este sitio en los mapas de que disponemos.

Playa, La (Localidad 43, Municipio de Trincheras). A finales de 1930, Gentry colectó fósiles de este valle con depósitos abundantes, ubicado 44 km (27.3 millas) al oeste de Santa Ana, para Childs Frick del American Museum of Natural History. Existen depósitos de edad Rancholabreano y Holoceno y se están desgastando en esta vega, que en un tiempo fue muy rica en materia orgánica, a orillas del arroyo Boquillas (un afluente del río Magdalena, el cual se junta con el río Altar para formar el río de la Concepción). Las capas del Holoceno contienen restos faunales y bastantes restos cultu-

rales entre los que se incluyen abundantes sepulturas humanas. John Carpenter (INAH) solicitó asistencia con los fósiles rancholabreanos expuestos; así, J.I. Mead, S.L. Swif, A. Báez y otros investigadores visitaron el sitio en 2001 y colectaron los vertebrados. Las colecciones de AMNH incluyen un cráneo aplastado y un esqueleto de *Platygonus*, además de *Bison*, *Capromeryx*, *Equus* y un camélido, venado y lagomorfo indeterminados. Aunque no se han publicado o realizado análisis formales geológicos, estratigráficos, cronológicos o de la fauna, el material de J.I. Mead y otros investigadores (tabla 1) se está describiendo y se está trabajando en una publicación, la que incluirá la descripción de los restos en AMNH. [Arroyo Boquillas (Río Magdalena)]

Playa San Bartolo (Localidad 44, Municipio de Hermosillo). Éste es un gran lago seco (también conocido como Playa Noriega) de 12.5-14 km (7.8-8.7 millas) de largo y 3-4 km (1.9-2.5 millas) de ancho, ubicado 14 km (8.7 millas) al norte de Bahía de Kino. Se han colectado restos fósiles en depósitos a lo largo de la margen oriental de este gran lago de agua dulce o ensenada costera. Algunos restos fueron colectados por N. Petit-Marie en 1976 (INAH, Ciudad de México); se han recuperado y preservado restos adicionales (UALP, NAU QSP). Debido a que los restos se colectaron en depósitos de la superficie, es probable estén representadas edades múltiples. Una epífisis proximal de una posible falange de *Camelops* proporcionó una edad cuestionable 14C de 7 630±460 B.P. (Gif-4055); se cuestiona si esta edad sea muy joven. Se han identificado *Camelops*, *Equus*, *Gopherus* y lagomorfos (NAU QSP). No se han realizado análisis formales geológicos, estratigráficos, cronológicos o de la fauna, aunque Petit-Maire y Casta (1977) publicaron una descripción concisa del lago seco y sus depósitos. La playa ha drenado hacia el sur desembocando en el río Sonora en Bahía de Kino en tiempos de lluvias torrenciales en el norte, las que llenaron la playa hasta que se derramó, según los reportes de colaboradores seris. Desde el aire y en fotografías aéreas se observa claramente un drenaje hacia el sur que conecta con Bahía de Kino por me-

dio de una serie de playas chicas. [Río Bacoachi (Río Magdalena)]

Playa San Bartolo (Localidad 45, Municipio de Hermosillo). Se recuperaron restos fósiles de un lago chico sin nombre a menos de 1 km (0.6 millas) al este de la playa San Bartolo. T. R. Van Devender, N. Petit-Marie y R.S. Whitehan colectaron restos fósiles en diferentes ocasiones de este depósito (NAU QSP). Puede representar edades múltiples. [Río Bacoachi (Río Magdalena)]

Puercera, La (Localidad 46, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia G12B16(?)). Este sitio consiste de un depósito arcilloso pequeño que contiene *Mammuthus*, *Bison* y *Equus* (AMNH); Gentry reportó que la madera silicificada era abundante. No hemos podido ubicar este rancho en ningún mapa moderno. [Río Cedros (Río Mayo)]

Quiriego (Localidad 47, Municipio de Quiriego; Mapa de Referencia G12B26). Gentry observó un colmillo muy mal preservado, pero no lo colectó, en sedimentos en las márgenes del río, 365 m (400 yardas) al norte del poblado. Asimismo, reportó sedimentos compactos e inclinados compuestos de arcilla y arena en la misma área, además de áreas con depósitos típicos limosos. Gentry colectó *Bison*, *Equus* y *Mammuthus* (AMNH) de estos depósitos limosos. [Río Cedros/Río Mayo]

Quitovac (Localidad 48, Municipio General Plutarco Elías Calles). La colección UALP contiene fragmentos de dientes y huesos postcraneales variados de *Mammuthus* colectados por Barney Burns en este sitio, ubicado al suroeste de Sonoyta. Gentry y John C. Blick visitaron el área para el Frick Laboratory. Gentry reportó restos abundantes pero muy mal preservados, entre los que se incluyen un antilocáprido, camello, *Equus*, y *Mammuthus* (AMNH). El antilocáprido está representado por una mandíbula en muy mal estado de preservación; en base a su tamaño podría representar *Antilocapra* o *Tetrameryx*. [Río Sonoyta]

Rancho Aigame (Localidad 49, Municipio de La Colorada). Ubicado cerca de 50 km (31 millas) al sureste de Hermosillo, en este sitio se han encontrado *Equus*, *Hesperotestudo* y un proboscido indeterminado (Unison). [Río El Represito]

Rancho Estribo (Rebeiquito) (Localidad 50, Municipio de Soyopa). Un diente solitario de *Mammuthus* (Unison) proviene de esta localidad. [Río Yaqui]

Rancho La Brisca (Localidad 51, Municipio de Cucurpe). Los depósitos lacustres en las márgenes del río Santo Domingo (afluente del río San Miguel) han sido casi completamente erosionados, aunque unos cuantos vestigios permanecen en las paredes del valle actual. Cincuenta y una especies, entre peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (UALP, IGM) fueron recobrados por medio de un intensivo lavado con tamiz húmedo (Rea, 1980; Van Devender *et al.*, 1985). Éste es un importante depósito de fósiles, una de las localidades del Neógeno estudiadas extensamente en Sonora, que registra la fauna desde un escenario del fondo del valle subiendo la ladera en la extensión al norte de la actual comunidad vegetal del matorral espinoso de piedemonte. [Río Santo Domingo (Río San Miguel, Río Sonora)]

Rancho de Enmedio (Localidad 52, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia H12D85). «Un depósito pequeño de caliza arcillosa se localiza una legua (3 millas) más arriba del sitio actual de las casas del rancho en un valle de mezquite [...] Otra exposición, una milla y media al noroeste de las casas del rancho, con incrustaciones de caliza, produjo un juego completo de dientes de caballo» (Gentry, reporte de campo, AMNH, 1937). Se reportan *Bison*, un camello, *Equus* cf. *E. conversidens* y *Mammuthus* (AMNH). Gentry usó los nombres Rancho el Medio y Rancho El Medio para este sitio en sus apuntes, ubicado justo al sur de El Tablón. [Río Cedros (Río Mayo)]

Sahuaro, El (Localidad 53, Municipio de Quiriego; Mapa de Referencia G12B15). No hemos podido ubicar el rancho El Sahuaro en ninguno de los mapas con que disponemos. De acuerdo al croquis de Gentry, el sitio estaría al norte de El Volador en la margen del río Cocoraque, un afluente pequeño entre el río Yaqui al oeste y el río Cedros al este. Se colectó *Bison* y *Equus* (AMNH). [Río Cocoraque]

Sangre Vieja (Localidad 54, Municipio de Tu-

butama). Este sitio se localiza en la Cañada Ancha. Antes de 1938 aquí se colectó una mandíbula y un hueso de una extremidad de un proboscideo que se enviaron a la Ciudad de México, según Gentry, quien observó fragmentos de huesos quebrados dispersos en el sitio. Gentry identifica el sitio como La Sangre. [Río Seco o Río Altar]

Santa Ana (Localidad 55, Municipio de Quiresgo; Mapa de Referencia G12B15). «Una legua o menos [tres millas] al este de las casas hay áreas extensas estéticamente erosionadas, pero sin fósiles, hasta que se llega al nivel más bajo del arroyo. Se encontraron huesos fragmentarios cuantiosos bajo 6 m [20 pies] del suelo del valle, en calizas arcillosas y con grava. Los fósiles están muy dispersos y principalmente en la grava, indicando depósitos de aguas rápidas. Se encontró solamente un hueso de una extremidad digno de colectarse. Algo de madera calcificada presente» (Gentry, reporte de campo, AMNH, 1937). El hueso de la extremidad mencionada es un metapodial proximal de *Equus* (AMNH). [Río Cocoraque]

Santa Rosa (Localidad 56, Municipio de Rosario; Mapa de Referencia H12D85). A Gentry se le mostró un diente incompleto de *Mammuthus* de esta localidad, un rancho al oeste de El Tablón. [Río Cedros (Río Mayo)]

Sierra El Rosario (Localidad 57, Municipio de San Luis Río Colorado). En 1990 R.S. White y Kevin Moodie colectaron huesos de un depósito de *Neotoma* spp en una saliente protegida, entre los que se incluyen varios huesos del extinto ticolote (*Strix brea*) La Brea (NAU QSP). Las plantas fósiles de este depósito de *Neotoma* spp. no han sido publicadas; los depósitos de *Neotoma* spp. de las cercanas Hornaday Mountains en Sonora fueron descritos por Van Devender *et al.* (1990). [Costero, Bahía de Adair]

Tecomate, Isla del Tiburón (Localidad 58, Municipio de Hermosillo) En 1972 R.S. White colectó un húmero de *Zalophus californicus* en las arcillas rojas en el límite de la marea alta en los depósitos al norte de la isla. Las arcillas rojas están cubiertas por aproximadamente 2.5 m (8 pies) de arenas no fosilíferas, las que sucesivamente están

cubiertas por cerca de 7.5 m (25 pies) de depósitos culturales. El ejemplar está depositado en la Academy of Natural Sciences, Philadelphia, Pennsylvania. Chiasson (1961) reportó un metatarso de *Zalophus* aparentemente del mismo sitio, pero no está claro si proviene de los depósitos del Pleistoceno o de los depósitos culturales sobrepuestos. [Costero]

Térapa, San Clemente de (Localidad 59, Municipio de Moctezuma). Los depósitos en esta localidad en la margen del río Moctezuma se acumularon cuando un caudal de lava creó una cuenca de captación que posteriormente se llenó con agua y sedimentos representativos de un medio ambiente pantanoso tropical (Mead *et al.*, 2006). Los restos de *Bison* definen claramente el depósito y su contenido como representativos de Rancholabreano NALMA, pero todavía no se comprende completamente si son de un período temprano o tardío en esa edad. Se han descrito de forma preliminar más de setenta especies de ostrácodos, moluscos, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos (Mead *et al.*, 2006; Mead *et al.*, 2007; Steadman y Mead, s.f.). La mayor parte de los fósiles no han sido estudiados a detalle y están identificados sólo en el nivel más general (tabla 1). Aunque el estudio de la fauna apenas empieza, la fauna de Térapa es la fauna de vertebrados fósiles más diversa conocida en Sonora. [Río Moctezuma (Río Yaqui)]

Tesopaco (Localidad 60, Municipio de Rosario y de Cajeme; Mapa de Referencia G12B15) Se conocen tres localidades de Tesopaco: 1) 8 km (5 millas) al sureste, 2) 16 km (10 millas) al oeste y norte y, 3) 25 km (15 millas) al oeste y norte. Los apuntes de campo de Gentry de sus primeras semanas en esta área son confusos. Parece ser que su Tesopaco Localidad 1 es la misma que después llamó Los Coyotes (Localidad 23 en este capítulo); que Tesopaco Localidad 2 es probablemente La Botana (Localidad 14 en este capítulo) y que Tesopaco Localidad 3 es Llano Prieto (Localidad 30 en este capítulo). Gentry también numeró sus hallazgos en La Botana como Localidad 1-6, confundiendo aún más (véase el croquis del mapa de Hilton, figura 3). Frick (1937) menciona material de *Bison* (F:A.M. 23346,

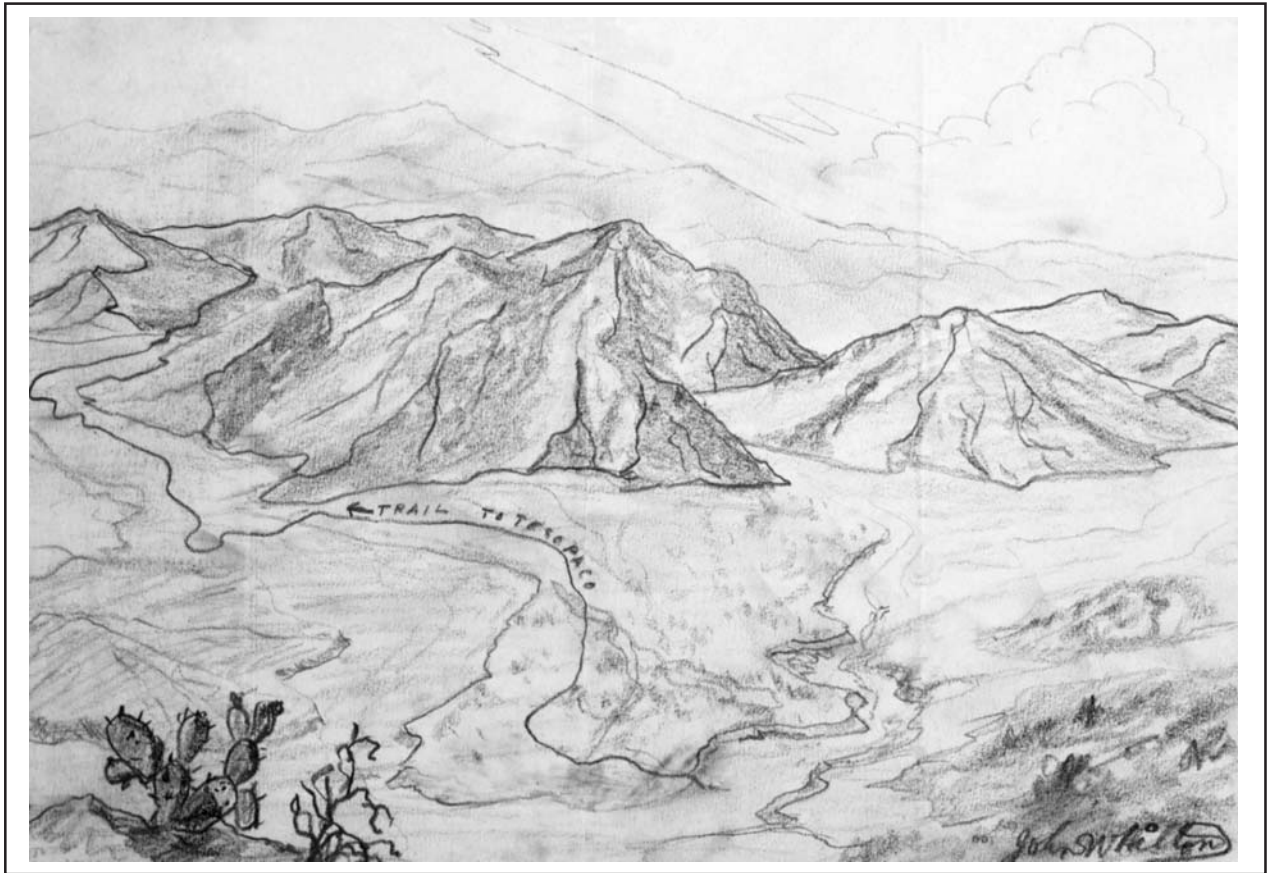


Figura 3. Bosquejo general del valle y los cerros circundantes al sitio Tesopaco 2. Dibujo hecho por John W. Hilton de la localidad, más tarde nombrada La Botana por Howard Scott Gentry. Este dibujo fue hecho en 1936 cuando Hilton trabajó con Gentry y antes de convertirse en un pintor famoso de paisajes del desierto del suroeste de Estados Unidos [dibujo proveniente de los Frick Files, Arizona Folder 10 (Childs Frick Notebooks, vol. 83, México, 1936, marzo-septiembre 1937, H.S. Gentry correspondence), cortesía de los archivos de paleontología de vertebrados del American Museum of Natural History].

un molar superior M2, más un metacarpo y un metatarso con varios huesos variados asociados) de Tesopaco, pero por error ubica la localidad en el Valle de México. El material al que hace referencia Frick es de la Localidad 2 en Tesopaco, la que creemos es la misma que La Botana. Material de glip-todonto de esa localidad forma parte de una publicación más grande (Mead *et al.*, 2007). [Localidad 1 y 3 están en el río Cedros (Río Mayo); Localidad 2 está en el río Yaqui]

VERTEBRADOS

La tabla 1 presenta los vertebrados fósiles recuperados que se conocen de los depósitos de Sonora. Se presume que las especies que se enlistan más abajo están identificadas correctamente. Existen

muy pocos reportes publicados, así que la mayoría de las identificaciones deberán considerarse preliminares hasta que se publique su verificación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las siguientes personas por su ayuda constante en el campo y en el laboratorio y por sus aportaciones sobre la historia natural de los vertebrados sonorenses: Joaquín Arroyo-Cabrales, Nick Czaplewski, Gary Morgan, William Peachey, David W. Steadman, personal de INAH Sonora y Thomas R. Van Devender. Especialmente agradecemos a Thomas R. Van Devender por permitirnos ser parte de este volumen. Mucho del material nuevo que aquí se reporta proviene de colectas hechas por Howard Scott Gentry para Childs Frick

en la década de 1930 y actualmente depositado en el American Museum of Natural History. Jin Meng, Richard Tedford, Susan Bell, Chris Norris, Carl Mehling y Bob Evander facilitaron el acceso a las colecciones y material de archivo de AMNH. Ev Lindsay y Kevin Moodie permitieron el acceso a las colecciones en la University of Arizona, Laboratory of Paleontology. Ev Lindsay también proporcionó datos sobre varias localidades sonorenses. El Dr. Ismael Ferrusquia-Villafranca revisó cuidadosamente el manuscrito y proporcionó valiosas sugerencias.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ, S.T. 1963. Nueva especie de *Archaeolagus* (Leporidae) basada en restos procedentes de Sonora, México. *Acta Zoológica Mexicana* 6: 1-4.
- ARROYO-CABRALES, J., O.J. POLACO y E. JOHNSON. 2002. La mastofauna del cuaternario tardío en México. En M.M. Ballesteros y J. Arroyo-Cabrales, eds. *Avances en los estudios paleomastozoológicos en México*. Serie Arqueología, INAH.
- ARROYO DE ANDA, L.A. 1964. The Primitive Hunters. *Handbook of Middle American Indians* 1: 384-412.
- BELL, C.J., E.L. LUNDELIUS, A.D. BARNOSKY, R.W. GRAHAM, E.H. LINDSAY, D.R. RUEZ, H.A. SEMKEN, S.D. WEBB y R.J. ZAKREWSKI. 2004. The Blancan, Irvingtonian, and Rancholabreano Mammal Ages. En: M.O. Woodburne, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America*. Columbia University Press, Nueva York, pp. 232-314.
- CARRANZA-CASTAÑEDA, O. y J. ROLDÁN-QUINTANA. 2007. Mastofaunula de la Cuenca de Moctezuma, Cenozoico tardío de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24: 81-88.
- CARRANZA-CASTAÑEDA, O. y W.E. MILLER. 2004. Late Tertiary Terrestrial Mammals from Central Mexico and their Relationship to South American Immigrants. *Revista Brasileira de Paleontología* 7: 249-261.
- CHIASSON, R.B. 1961. A Pleistocene Record of *Zalophus* from Mexico. *Journal of Mammalogy* 42: 547-549.
- CRAYCROFT, J. 1968. First Record of the Turkey *Meleagris gallopavo* from the Pleistocene of Mexico. *The Condor* 70: 274.
- CROXEN, F.W. III, C.A. SHAW y D.R. SUSSMAN. 2007. Pleistocene Geology and Paleontology of the Colorado River Delta at Golfo de Santa Clara, Sonora, Mexico. En R.E. Reynolds, ed., *Wild, Scenic and Rapid: a Trip Down the Colorado River Trough*. The 2007 Desert Symposium Field Guide and Abstracts from Proceedings. California State University, Fullerton, Desert Studies Consortium, pp. 84-89.
- FERRUSQUIA-VILAFRANCA, I. 1990. Biostratigraphy of the Mexican Continental Miocene. *Paleontología Mexicana* 56: 1-149.
- FLYNN, J.J., B.J. KOWALLIS, C. NÚÑEZ, O. CARRANZA-CASTAÑEDA, W.E. MILLER, C.C. SWISHER III y E.H. LINDSAY. 2005. Geochronology of Hemphillian-Blancan Aged Strata, Guanajuato, Mexico, and Implications for Timing of the Great American Biotic Interchange. *Journal of Geology*. 113: 287-307.
- FRICK, C. 1933. *New Remains of Trilophodont-Tetrabelodont Mastodons*. Bulletin of the American Museum of Natural History 59: 505-652.
- FRICK, C. 1937. *Horned Ruminants of North America*. Bulletin of the American Museum of Natural History 69: 1-669.
- HAURY, E.W. 1953. Artifacts with Mammoth Remains, Naco, Arizona. *American Antiquity* 19: 1-14.
- HONEY, J.G., J.A. HARRISON, D.R. PROTHERO y M.S. STEVENS. 1998. Camelidae. En: C.E. Janis, K.M. Scott y L.L. Jacobs, eds. *Evolution of Tertiary Mammals of North America*. Cambridge University Press, Nueva York, pp. 439-462.
- LAMBERT, W.D. 1996. The Biogeography of the Gomphotheriid Proboscideans of North America. En: J. Shoshani y P. Tassy, eds. *The Proboscidea: Evolution and Paleocology of Elephants and their Relatives*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 143-148.
- LAMBERT, W.D. y J. SHOSHANI. 1998. Proboscidea. En C.E. Janis, K.M. Scott y L.L. Jacobs, eds. *Evolution of Tertiary Mammals of North America*. Cambridge University Press, Nueva York, pp. 606-621.
- LINDSAY, E.H. 1984. Late Cenozoic mammals from northwestern Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 4:208-215.
- LINDSAY, E.H., N.D. OPDYKE y N.M. JOHNSON. 1984. Blancan-Hemphillian Land Mammal Ages and Late Cenozoic Mammal Dispersal Events. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 12: 445-488.
- LIST, R., G. CEBALLOS, C. CURTIN, P. GOGAN, J. PACHECO y J. TRUETT. 2007. Historic Distribution and Challenges to *Bison* Recovery in the Northern Chihuahuan Desert. *Conservation Biology* 21: 1487-1494.
- LUCAS, S.G., G. MORGAN y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN.

1997. *Rhynchotherium* (Mammalia, Proboscidea) de San José de Pimas. *Geología del Noroeste* 2: 7-8.
- LUCAS, S.G. y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1996. The Arizpe Mammoth, Pleistocene of Sonora, Mexico-Taxonomic Re-Evaluation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 13: 90-93.
- LUCAS, S.G. y C.M. GONZÁLEZ-LEÓN. 1997. *Cuvieronius* (Mammalia, Proboscidea) de Oquitoa, Sonora. *Geología del Noroeste* 2: 12-13.
- LUCAS, S.G. y G. MORGAN. 2005. Pleistocene Mammals of Arizona: An Overview. En A. Heckert y S.G. Lucas, eds. *Vertebrate Paleontology in Arizona*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 29: 153-158.
- MALDONADO, M. 1948. Los vertebrados fósiles del Cuaternario en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 9: 1-35.
- MCKENNA, M.C. y S.K. BELL. 1997. *Classification of Mammals above the Species Level*. Columbia University Press, Nueva York.
- MEAD, J.I., A. BAEZ, S.L. SWIFT, M.C. CARPENTER, M. HOLLENSHEAD, N.J. CZAPLEWSKI, D.W. STEADMAN, J. BRIGHT y J. ARROYO-CABRALES. 2006. Tropical Marsh and Savanna of the Late Pleistocene in Northeastern Sonora, Mexico. *The Southwestern Naturalist* 51: 226-239.
- MEAD, J.I., S.L. SWIFT, R.S. WHITE, H.G. McDONALD y A. BAEZ. 2007. Late Pleistocene Glytodon and Pamphater (Xenarthra, Cingulata) from Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24: 439-449.
- MEAD, J.I. y C.B. JOHNSON. 2004. *Bison* and *Bos* from Protohistoric and Historic Localities in the San Rafael Valley, Arizona. *Kiva* 70: 183-193.
- MILLER, W.E. y O. CARRANZA-CASTAÑEDA. 2001. Late Cenozoic Mammals from the Basins of Central Mexico. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana* 40: 235-242.
- MILLER, W.E. y O. CARRANZA-CASTAÑEDA. 2002. Importance of Mexico's Late Tertiary Mammalian Faunas. En M. Montellanos-Ballesteros y J. Arroyo-Cabrales, eds. *Avances en los estudios Paleomastozoológicos en México*, Serie Arqueología. México, INAH, pp. 83-102.
- OSBORN, H.F. 1921. The Evolution, Phylogeny and Classification of the Proboscidea. American Museum of Natural History. *Novitates* 1: 1-15.
- OSBORN, H.F. 1929. New Eurasiatic and American Proboscideans. American Museum of Natural History. *Novitates* 393: 1-23.
- OSBORN, H.F. 1936. Proboscidea: *A Monograph of the Discovery, Evolution, Migration and Extinction of the Mastodonts and Elephants of the World*, vol. 1. American Museum of Natural History, Nueva York.
- OSBORN, H.F. 1942. Proboscidea: *A Monograph of the Discovery, Evolution, Migration and Extinction of the Mastodonts and Elephants of the World*, vol. 2. American Museum of Natural History, Nueva York.
- PASENKO, M. 2007. *Rhynchotherium falconeri* (Proboscidea, Gomphotheriidae) from 111 Ranch, Southeastern Arizona with a Discussion of the Genus. *Journal of Vertebrate Paleontology* 27: 195-203.
- PETIT-MAIRE, N. y L. CASTRA. 1977. Un paleoloc du nord-ouest Mexicain: La Playa San Bartolo. *Recherches Françaises Sur le Quaternaire*, INQUA, *Supplement au Bulletin AFE* 1, 50: 304-322.
- REA, A.M. 1980. Late Pleistocene and Holocene Turkeys in the Southwest. Natural History Museum of Los Angeles County, *Contributions in Science* 330: 209-224.
- ROEDER, M.A. 2007. A Preliminary Report on Fossil Bony Fish Remains Recovered from Early Pleistocene Colorado River Delta Deposits Exposed in Northwestern Sonora, Mexico. En: R. E. Reynolds, ed. *Wild, Scenic and Rapid: a Trip Down the Colorado River Trough*. The 2007 Desert Symposium Field Guide and Abstracts from Proceedings. California State University, Fullerton, Desert Studies Consortium, p. 90.
- SHAW, C.A. 1981. The Middle Pleistocene El Golfo Local Fauna from Northwestern Sonora, Mexico. Inédito, MS thesis. California State University, Long Beach.
- SHAW, C.A., F.W. CROXEN y D.R. SUSSMAN. 2005. Field Guide, el Golfo de Santa Clara, Sonora, Mexico. Society of Vertebrate Paleontology. 65th Annual Meeting, field trip.
- SHAW, C.A. y H.G. McDONALD. 1987. First Record of Giant Anteater (Xenarthra, Myrmecophagidae) in North America. *Science* 236: 186-188.
- SILVA-BÁRCENAS, A. 1969. Localidades de vertebrados fósiles en la República de México. *Paleontología Mexicana* 28: 1-34.
- SKINNER, M.K. y O.C. KAISEN. 1947. The Fossil Bison of Alaska and Preliminary Revision of the Genus. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 89: 123-256.
- STEADMAN, D.W. 1980. A Review of the Osteology and

- Paleontology of Turkeys (Aves: Meleagridinae). Natural History Museum of Los Angeles County, *Contributions in Science* 330: 131-207.
- STEADMAN, D.W. y J.I. MEAD. s.f. A Late Pleistocene Bird Community at the Northern Edge of the Tropics in Sonora, Mexico. En revision.
- TEDFORD, R.H., L.B. ALBRIGHT III, A.D. BARNOSKY, I. FERRUSQUÍA-VILAFRANCA, R.M. HUNT JR., J.E. STORER, C.C. SWISHER, M.R. VOORHIES, S.D. WEBB y D.P. WHISTLER. 2004. Mammalian Biochronology of the Arikareean Through Hemphillian Interval (Late Oligocene Through Early Pliocene Epochs). En: M.O. Woodburne, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America*. Columbia University Press, Nueva York, pp. 169-231.
- VAN DEVENDER, T.R., A.M. REA y M.L. SMITH. 1985. The Sangamon Interglacial Vertebrate Fauna from Rancho la Brisca, Sonora, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 21: 23-55.
- VAN DEVENDER, T.R., T.L. BURGESS, R.S. FELGER y R.M. TURNER. 1990. Holocene Vegetation of the Hornaday Mountains of Northwestern Sonora, Mexico. *Proceedings of San Diego Society Natural History* 2: 1-19.
- WOODBURNE, M.O. 2006. Central American Provincialism and the Great American Biotic Interchange. En: O. Carranza-Castañeda y E.H. Lindsay, eds. *Advances in late Tertiary Vertebrate Paleontology in Mexico and the Great American Biotic Interchange*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Centro de Geociencias, Publicación Especial 4: 73-101.
- YETMAN, D., P.S. MARTIN, M. FISHBEIN, R.K. WILSON y G.M. FERGUSON. 1998. List of Rio Mayo localities. En P.S. Martin, D. Yetman, M. Fishbein, P. Jenkins, T.R. Van Devender y R.K. Wilson, eds. *Gentry's Rio Mayo Plants: The Tropical and Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico*. University Arizona Press, Tucson, pp. 73-113.

Capítulo traducido por Ana Lilia Reina-Guerrero

Tabla 1. Vertebrados del Neógeno de localidades selectas en Sonora, México

PECES

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
Catostomidae	Catostomidae gen. et. spec. indet. <i>Catostomus wigginsi</i> – matalote ópata		x	x		
Cyprinidae	<i>Agosia chrysogaster</i> – charalito aleta larga		x	x		
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis monacha-occidentalis</i> – charalito		x			
Ictaluridae	gen. et sp. indet.	x		x		
Istiophoridae	gen. et sp. indet. – espondón	x				

ANFIBIOS

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
Bufonidae	<i>Bufo alvarius</i> – sapo grande <i>B. cognatus</i> – sapo <i>B. kelloggi</i> – sapito <i>B. mazatlanensis</i> – sapo <i>B. punctatus</i> o <i>retiformis</i> – sapito pinto <i>Bufo</i> sp. – sapo	x	x c. f. c. f. x x x			
Hylidae	<i>Hyla arenicolor</i> – ranita de las cañadas <i>Hyla</i> sp. – ranita <i>Pternohyla fodiens</i> – rana		x x x	x x		
Leptodactylidae	<i>Hylactophryne augusti</i> – ranita ladradora <i>Leptodactylus melanonotus</i> – ranita <i>Gastrophryne</i> cf. <i>olivacea</i> – ranita olivo		x x x			
Pelobatidae	<i>Scaphiopus couchi</i> – sapo <i>Scaphiopus</i> sp. – sapo		x x			
Ranidae	<i>Rana 'pipiens'</i> complejo – rana <i>Rana</i> sp. – rana	x	x	x		

REPTILES

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
Testudinata	gen. et sp. indet.				x	13
Emydidae	<i>Terrapene</i> – tortuga de caja* <i>Trachemys scripta</i> – tortuga yaqui del agua	x	x	x		10
Kinosternidae	<i>Kinosternon sonoriense</i> – tortuga del agua, casquito <i>Kinosternon flavescens</i> – tortuga del agua <i>Kinosternon</i> sp. – tortuga del agua		x x c. f.	x		
Testudinidae	<i>Gopherus</i> o <i>Hesperotestudo</i> – tortuga <i>Hesperotestudo</i> sp. – tortuga † <i>Gopherus</i> sp. – tortuga	x	x		x	1, 28, 31, 33, 45 27, 38, 39 26, 27, 44
Crocodylidae	<i>Crocodylus acutus</i> – cocodrilo americano			c. f.		

REPTILES (concluye)

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
Phrynosomatidae	<i>Callisaurus draconoides</i> – perrita		c. f.			
	<i>Sceloporus clarkii</i> – cachorón		c. f.			
Boidae	<i>Constrictor constrictor</i> – corúa	x				
Colubridae	<i>Hypsiglena torquata</i> – culebra nocturna		x			
	<i>Masticophis mentovarius</i> – chirrionera		c. f.			
	<i>Masticophis</i> – chirrionera	x				
	<i>Rhinocheilus lecontei</i> – coralillo falso	x				
	<i>Salvadora</i> sp. – culebra rayada		x			
	<i>Thamnophis cyrtopsis</i> – culebra del agua		c. f.			
Viperidae	Crotalidae indet. – víbora sin identificar			x		
	<i>Crotalus atrox</i> – víbora de cascabel		x			
	<i>Crotalus</i> sp. – víbora de cascabel	x				33

AVES

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
	Ave indeterminada					14, 26,
Phoenicopteridae	<i>Phoenicopterus</i> sp. – flamingo	x				
Podicipedidae	<i>Podilymbus podiceps</i> – zambullidor pico pinto			x		
	<i>Podiceps nigricollis</i> – pato buzo			x		
Pelecanidae	<i>Pelecanus erythrorhynchus</i> – pelícano blanco			x		
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax auritus</i> – cormorán			x		
Ardeidae	<i>Ardea herodias</i> – garza			x		
	<i>A. alba</i> – grulla, garza blanca			x		
Threskiornithidae	<i>Plegadis chihi</i> – ibis negro			c. f.		
Ciconiidae	gen. et sp. indet. – cigüeña grande extinta †			x		
Anatidae	<i>Anabernicula oregonensis</i> – pato ganso †			x		
	<i>Anas crecca</i> – cerceta verde		c. f.	x		
	<i>A. platyrhynchos/diazi</i> – pato de collar			x		
	<i>A. acuta</i> – pato golondrino			x		
	<i>A. clypeata</i> – pato cucharón			x		
	<i>A. discors</i> – cerceta azul			x		
	<i>A. strepera</i> – pato pinto			x		
	<i>Anas</i> sp. – pato	x				
	<i>Anser</i> sp. – pato grullo			x		
	<i>Aythya collaris</i> – pato boludo			x		
	<i>Branta canadensis</i> – ganso canadiense			x		
	<i>Chen</i> sp. - ganso		c. f.			
	<i>Oxyura jamaicensis</i> – zambullidor			x		
Vulturidae	<i>Coragyps occidentalis</i> – zopilote*	x				
	<i>Gymnogyps</i> sp. – condor*	x				
Accipitridae	Accipitridae gen. et. sp. indet		x			
	<i>Aquila chrysaetos</i> – águila real			x		
	<i>Aquila</i> sp. - águila	x				

AVES (concluye)

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
	<i>Buteo</i> sp. - gavilán	X				
	<i>Buteogallus daggetii</i> – aguillilla †			X		
	<i>Caracara cheriway</i> – quelele, caracara			X		
	<i>Circus cyaneus</i> – gavilán rastrero			X		
	<i>Ictinia</i> sp. – gavilancito tipo Mississippi			X		
	cf. <i>Spizaetos</i> – aguillilla †		X			
Gruidae	<i>Grus</i> sp. – grulla	X				
Phasianidae	<i>Meleagris gallopavo</i> – pavo		X			10
Odontophoridae	<i>Callipepla douglasii</i> – choli, codorniz cresta dorada			X		
Tetronidae	? gen et sp. indet. – urogallo	X				
Rallidae	<i>Porzana carolina</i> – palmateador sora			X		
	<i>Gallinula chloropus</i> – gallito			X		
	<i>Porphyrio martinicus</i> – gallineta morada			X		
	<i>Fulica americana</i> – gallereta			cf.		
Charadriidae	<i>Charadrius vociferus</i> – tildillo			X		
Strigidae	<i>Bubo</i> sp. – búho cornudo	X				
	<i>Strix brea</i> – tecolote La Brea †		X	X		57
Icteridae	<i>Agelaius phoeniceus</i> – tordo sargento		X			

MAMÍFEROS

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
Mylodontidae	<i>Paramylodon harlani</i> – perezoso de Harlan	X				
	<i>Paramylodon</i> sp. – perezoso †			X		
Megalonychidae	<i>Megalonyx wheatleyi</i> – perezoso de Wheatley †	X				
Megatheriidae	<i>Nothrotheriops texanus</i> – perezoso †	X				
Myrmecophagidae	<i>Myrmecophaga tridactyla</i> – oso hormiguero gigante*	X				
Glyptodontidae	<i>Glyptotherium cylindricum</i> - gliptodonte †			X		
	<i>Glyptotherium</i> sp. – gliptodonte †			X		14, 18, 30, 60
Pampatheriidae	<i>Pampatherium mexicanum</i> †			X		
Hydrochoeridae	<i>Nechoerus</i> sp. – capibara*			X		
	<i>Nechoerus dichroplax</i> – capibara †	X				
Rodentia	Roedor sin identificar					13
Erethizontidae	<i>Coendou</i> sp. – puercoespín*	X				
Heteromyidae	<i>Dipodomys</i> sp. – rata canguro	X	X			
Muridae	<i>Neotoma</i> sp. – rata de monte, tori	X	X	X		
	<i>Ondatra</i> sp. – rata almizclera*	cf.				
	<i>Onychomys</i> sp. – ratón saltamontes		X			
	<i>Sigmodon curtisi</i> – rata algodonera de Curtis †	X				
	<i>Sigmodon</i> sp. – rata algodonera	X	X	X	X	
Geomyidae	<i>Geomys</i> sp. – tuza	X				

MAMÍFEROS (continúa)

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
Castoridae	gen. et sp. indet. – tuza <i>Castor californicus</i> – castor †	cf.		x		
Sciuridae	<i>Cynomys ludovicianus</i> – perrito llanero*				x	
Leporidae	<i>Spermophilus</i> sp. – juancito, ardillita Lagomorfo indeterminado <i>Hypolagus sonoranus</i> conejo extinto † <i>Sylvilagus hibbardi</i> – conejo † <i>Sylvilagus</i> sp. – conejo <i>Lepus</i> sp. – liebre	x			x	26, 44 62
Procyonidae	<i>Bassariscus astutus</i> – cacomixtle, comadreja <i>Procyon</i> sp. – mapache*	x	x			
Felidae	<i>Lynx</i> sp. – gato montés <i>Felis rexroadensis</i> – gato rexroad † <i>Felis</i> sp. – gato tamaño de lince [ver <i>Lynx</i> arriba] <i>Panthera onca</i> – tigre, jaguar* <i>Homotherium</i> sp. – tigre dientes de sable † <i>Miracinonyx inexpectatus</i> – guepardo, cheetah americano †	x		cf.		
Canidae	<i>Canis dirus</i> – lobo gigante † <i>Canis edwardii</i> – lobo-coyote † <i>Canis lepophagus</i> – lobo † <i>Urocyon</i> sp. – zorra gris	x		x		
Ursidae	<i>Tremarctos floridanus</i> – oso cavernario de Florida †	x				
Mustelidae	<i>Taxidea</i> sp. – tejón Gen. et sp. indet. – zorrillo	x				
Hyaenidae	<i>Chasmaporthetes ossifragus</i> – hiena †	x				
Otariidae	<i>Zalophus californicus</i> – lobo marino de California					58
Tayassuidae	<i>Platygonus vetus</i> – jabalín de Leidy' † <i>Platygonus</i> sp. – jabalín o pecarí †	cf.		x	x	13
Camelidae	Camelidae indeterminado <i>Camelops</i> sp. – camello † <i>Titanotylopus</i> sp. – camello gigante † <i>Hemiauchenia blancoensis</i> – llama blanca † <i>Hemiauchenia gracilis</i> – llama pequeña † <i>Palaeolama</i> sp. – camello de patas musculosas † camello stenomyline † camello llamine †				x	7, 12, 14, 18, 44, 48, 52, 60 44
Cervidae	<i>Odocoileus hemionus</i> – venado bura <i>O. virginianus</i> – venado cola blanca <i>Odocoileus</i> - venado	cf. x	x		x	61 13, 14, 60

MAMÍFEROS (concluye)

Familia	Género y especie	El Golfo 3	Rancho La Brisca 51	Térapa 59	La Playa 43	Otros sitios
Antilocapridae	<i>Navahoceros</i> sp. – venado de la montaña †	cf.				14, 33, 48
	Antilocapridae indeterminado					
	<i>Capromeryx furcifer</i> – berrendo de Matthew †	x				
	<i>Capromeryx</i> sp. – berrendo diminuto †		x	x	x	
	<i>Stockoceros</i> sp. – berrendo de 4 cuernos †			x		
Bovidae	<i>Tetrameryx</i> sp. – berrendo de 4 cuernos †	x	x			7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 30, 36, 46, 47, 52, 53, 60
	Gen. et sp. nov. – berrendo de 4 cuernos	x				
	<i>Bison</i> sp. – bisonte* †		x	x	x	
Equidae	<i>Euceratherium</i> sp.					12
	<i>Ovis</i> sp. – borrego cimarrón	x				52
	<i>Equus conversidens</i> – caballo mexicano †	cf.				
	<i>E. scotti</i> – caballo scott †	cf.				10
	<i>E. tau</i> – onagro pigmeo †		cf.			
	<i>Equus</i> sp. – caballo †	x	x	x	x	7, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 22, 28, 29, 30, 37, 40, cf42, 44, 46, 47, 48, 49, 53, 55, 60 Vargas (sin ubi- cación en mapa)
Tapiridae	<i>Nannippus</i> sp. caballo de tres dedos †					7, 10, cf12, 21, 25
	<i>Tapirus haysii</i> – tapir de Hay †	cf.				
	<i>T. californicus</i> – tapir de California †	cf.				
Proboscidea	<i>Tapirus</i> sp. – tapir †			x		20, 23, 34, 35, 41, 49, 54
	Proboscideo indeterminado					
Gomphotheriidae	Gonfoterio indeterminado					7, 10, cf12, 21, 25
	<i>Cuvieronius</i> sp. – gonfoterio †	x		x		
	<i>Rhynchotherium</i> – gonfoterio †					
Elephantidae	<i>Mammuthus meridionalis</i> – mamut del sur †	cf.				8, 39
	<i>Mammuthus imperator</i> – mamut imperial †					1, 63
	<i>Mammuthus</i> sp. – mamut †		x	x	x	10, cf37
						4, 5, 6, 7, 12, 14, 15, 17, 19, 21, 24, 28, 30, 32, 37, 40, 46, 47, 48, 50, 52, 56, 60

Notas: identificaciones de aves de Térapa por David W. Steadman (Steadman y Mead, s.f.); cf.: identificación no verificada, †: extinto, *: taxón localmente ausente, pero en la actualidad vive en otras localidades.

CLIMA

LUIS BRITO-CASTILLO,¹ MICHAEL A. CRIMMINS² Y SARA C. DÍAZ C.¹

RESUMEN. Según el sistema de clasificación de Köppen, modificado por García, y los tipos de vegetación del sistema de Brown y Lowe, en Sonora se han clasificado 24 tipos de climas y cinco tipos de vegetación. Las dos terceras partes del estado están dominadas por el desierto sonorense donde se encuentra la zona más árida de México. Las lluvias en la entidad aumentan de norte a sur desde menos de 50 mm por año en el extremo noroeste a más de 1 000 mm en el mismo período en el extremo sureste del estado, principalmente en las zonas montañosas de la Sierra Madre Occidental. Éstas son generadas por sistemas meteorológicos de latitudes medias, predominantemente en invierno, y tropicales durante el verano. Estos sistemas se encuentran fuertemente influenciados por dos celdas semipermanentes de alta presión, una localizada en el Pacífico Oriental y otra sobre las islas Bermudas, las cuales tienen influencia en el desarrollo de los sistemas meteorológicos de menor escala. En el capítulo se hace una descripción de estos sistemas, de su influencia en los campos de temperatura y lluvia en el estado y de los tipos de climas presentes. El capítulo concluye con una descripción de las relaciones encontradas entre los tipos de vegetación y los climas y se mencionan algunos datos sobre las principales tendencias observadas en el clima de Sonora.

ABSTRACT. According to Köppen's classification, modified by Garcia, and the Biotic Communities classification of Brown and Lowe, 24 different climate types and five different types of vegetation have been described in Sonora. Two thirds of the State is dominated by the sonoran desert, where the most arid zone of Mexico is located. Rainfall in Sonora increases from north to south, from less than 50 mm in the extreme northwest, to more than 1000 mm in the extreme southeast

of the State, mainly in the mountain region of the Sierra Madre Occidental. Rainfall events are produced by mid-latitude weather systems in winter and tropical weather systems in summer. These weather systems are strongly influenced by two large-scale subtropical high pressure systems, one localized in the Eastern Pacific and the other over the Bermuda Islands which govern and control the development of weather systems of lesser extent. In this chapter, we describe these weather systems, and their influence over temperature and rainfall along the State, and the climates found in Sonora. The chapter concludes with a description of the relationships between vegetation and climate, and some of the main trends observed in the climate of Sonora.

INTRODUCCIÓN

Sonora es un estado con un claro gradiente altitudinal por encontrarse en la vertiente exterior de la Sierra Madre Occidental (SMO). Presenta un marcado declive hacia el Golfo de California desde unos 2 000 m de elevación en la sierra de Álamos al sur del estado. Las serranías están orientadas en el sentido sur-sureste (S-SE) y nor-noreste (N-NE) y entre ellas se forman valles longitudinales a los márgenes de los ríos que a veces se cortan por despeñaderos y acantilados, para abrirse con mayores dimensiones al aproximarse a la costa, hasta terminar en páramos o desiertos que adquieren su mayor extensión en los municipios de Pitiquito y Caborca al noroeste del estado. En general se puede decir que se definen dos zonas: una montañosa, que además de poseer fértiles valles en las márgenes de los ríos, tiene llanuras abiertas en las planicies altas; la otra zona es de terreno plano, ya que a

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

² University of Arizona.

medida que se aproxima a la costa, va adquiriendo mayor extensión, hasta terminar en desiertos por su constitución geológica y su clima, donde la precipitación total anual es inferior a 50 mm (Gobierno del Estado de Sonora, 2006). En la entidad abundan los climas áridos (Mosiño y García, 1973) con temperaturas extremas y escasa precipitación. Las plantas xerófilas son las que mejor se han adaptado a estas condiciones y, por lo tanto, son las que más abundan. El matorral desértico ocupa poco más de la mitad de la superficie total de Sonora, distribuido predominantemente hacia el oeste y noroeste de la entidad. En contraste, la compleja topografía y las altas elevaciones de la SMO, ubicada al oriente del estado, donde abundan los bosques de coníferas y de encinos, se manifiesta en precipitaciones más abundantes y temperaturas menos extremas.

Aproximadamente 95% del estado de Sonora se caracteriza por tener alguna variante de clima seco, con escasa precipitación y alta temperatura. Según el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988), y el sistema de clasificación de comunidades bióticas de Brown y Lowe (1994), en Sonora se han clasificado 24 tipos diferentes de climas y cinco tipos diferentes de vegetación. ¿Qué es lo que hace que la entidad sostenga esta diversidad de climas y tipos de vegetación? La respuesta es compleja, pues intervienen muchos factores como su latitud, colindancia con el Golfo de California, fisiografía, etcétera. Parte de la respuesta se encuentra en los sistemas de circulación atmosférica denominados de gran escala por cubrir un radio entre 10 000 y 40 000 km durante semanas o meses y que son suficientes para incidir en todo el planeta. Estos sistemas gobiernan el desarrollo y movimiento de los sistemas meteorológicos de escala menor que afectan de manera particular a Sonora a lo largo del año y controlan las características de temperatura y precipitación en el estado. La descripción de cómo estos sistemas influyen a lo largo del estado permite entender la presencia de tanta diversidad de climas y tipos de vegetación. Un tanto más difícil es explicar la relación entre los climas y los tipos de vege-

tación. En ocasiones sucede que en climas similares, las pequeñas diferencias en la periodicidad de eventos extremos son causas limitantes para la distribución de algunas especies.

Varios aspectos del clima de Sonora ya han sido descritos por diversos autores; por ejemplo, Mallery (1936a y 1936b) realizó una evaluación bi-anual de la lluvia del desierto sonorense y Ronald Ives (1949) efectuó una recolección de datos de campo y resumen de información climática durante el período de 1928 a 1947 en áreas desérticas de Arizona, Sonora y Baja California, mientras que Mosiño y García (1981) hicieron un análisis de la variabilidad de la lluvia, del que obtuvieron un diagrama de riesgos por falta de lluvia para México. En todo caso, el objetivo del presente capítulo es hacer una síntesis del conocimiento actual del clima del estado de Sonora.

CONTROLADORES ATMOSFÉRICOS DE GRAN ESCALA EN EL CLIMA DE SONORA

Sistemas de alta presión subtropicales

Los patrones dominantes de circulación atmosférica de gran escala juegan un papel importante en la determinación del clima de Sonora. La posición geográfica y zonal de Sonora es consistente con otros sitios áridos alrededor del globo. Muchos de los grandes desiertos del mundo se localizan cerca de los 30° de latitud en ambos hemisferios. La conexión entre la aridez y la latitud se explica mediante la formación de sistemas semipermanentes de alta presión superficiales cercanos a esta latitud a lo largo del globo. Estos sistemas de alta presión subtropicales se asocian con aire descendente y traen consigo tiempo claro, seco y cálido sobre las áreas donde se posicionan. Sonora se encuentra bajo la influencia cercana de dos de estos sistemas de alta presión (Schmidt, 1989): los sistemas de alta presión del Pacífico Oriental y de las Bermudas (figura 1). La formación de estos sistemas de alta presión está asociada a la circulación de escala global que mueve el exceso de energía desde las regio-

nes ecuatoriales hacia los polos. Durante el ciclo anual, la radiación solar incidente y el calentamiento de la superficie son mayores cerca del ecuador e inducen a la formación de una vaguada térmica con actividad de tormentas convectivas intensas. Esta vaguada térmica también se conoce como Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) y se mueve hacia el norte y hacia el sur a lo largo del año en respuesta a los cambios angulares del sol. El aire que se eleva desde la ZITC se distribuye y se mueve hacia los polos cuando alcanza el límite de la troposfera a altitudes cercanas a los 20 000 m y desciende cerca de los 30° de latitud en ambos hemisferios, lo cual se relaciona con la formación de los sistemas de alta presión subtropicales en la superficie. Debido a los contrastes térmicos entre la tierra y el mar (las aguas retienen mejor el calor que el continente y hace que éste se caliente mucho más rápido que las aguas y viceversa) los sistemas de alta presión se organizan mejor sobre el océano.

La intensidad y posición de los sistemas de alta presión del Pacífico Oriental y de las Bermudas son factores importantes que influyen en la variabilidad de la precipitación en Sonora desde escalas estacionales y decadales. Si el sistema de alta presión posicionado sobre el Pacífico Oriental es inusualmente intenso durante el invierno, puede desviar lejos hacia el norte los sistemas de tormentas y limitar la precipitación, mientras que una zona de alta presión en las Bermudas inusualmente intensa durante el verano puede fortalecer el flujo desde el sur y transportar precipitaciones por arriba del promedio en la mayor parte del norte de México.

SISTEMAS METEOROLÓGICOS

Invierno

Sonora recibe cerca de ochenta por ciento de la lluvia anual entre los meses de julio y septiembre, con algunas aportaciones importantes al final del verano y principios de otoño debidas a las tormentas ocasionales producidas en los alrededores de los

huracanes (Jáuregui, 1989; Reyes y Mejía-Trejo, 1991) y un segundo máximo de precipitación durante el invierno (de diciembre a febrero). La precipitación total de invierno, aun cuando es significativamente menor a la precipitación de verano, es especialmente importante para la vegetación de Sonora (Salinas-Zavala *et al.*, 2002), debido a que por su larga duración y baja intensidad tiene mayores posibilidades de infiltrarse a mayor profundidad en el suelo y estar disponible hasta la entrada de la primavera.

La precipitación de invierno está asociada a sistemas de baja presión de latitudes medias que atraviesan el norte de México, los cuales transportan humedad desde el Océano Pacífico y producen lluvias muy dispersas y nieve en zonas elevadas. La energía que impulsa a estos sistemas de baja presión proviene de las corrientes de chorro subtropical y de latitudes medias que pueden ser activas en las cercanías de Sonora durante el invierno. Sobre Sonora pueden pasar repetidas veces sistemas intensos de baja presión; en la parte frontal de estos sistemas hay un cambio brusco en las propiedades térmicas y dinámicas de las masas de aire vecinas por lo que se les conoce como frentes fríos extratropicales. Estos sistemas pueden no generar precipitación alguna debido al acceso limitado de humedad subtropical y de altas latitudes. Si ocurren en el Golfo de México, esos eventos fríos son también conocidos como Nortes y pueden promover condiciones ideales para la generación de temperaturas de congelación en un área muy extensa. Aire fresco y seco y cielos despejados permiten un enfriamiento radiacional intenso durante las noches que siguen al paso de un frente frío, seco e intenso, lo cual es causa de muerte potencial en algunos tipos de vegetación (Turnage y Hinckley, 1938).

Verano

La precipitación de verano en Sonora ocurre como resultado de dinámicas atmosféricas muy diferentes. La corriente de chorro de latitudes medias que transporta los sistemas de tormentas de invierno

se desplaza muy al norte durante el verano, mientras que la zona de alta presión del Pacífico Oriental se intensifica hacia la costa occidental de Norteamérica. Las dinámicas atmosféricas que producen la precipitación de verano no están asociadas con las corrientes de chorro de escala global ni con los sistemas de baja presión intensos, sino con las tormentas convectivas que surgen por la combinación del calentamiento solar y la humedad. La radiación y el calentamiento solar son muy abundantes en Sonora durante la primavera y principios del verano, pero las condiciones permanecen secas. El único ingrediente faltante es la humedad. Un ligero cambio en los patrones de circulación durante el verano permite la entrada de humedad desde el sur, la cual incrementa en forma dramática la actividad de tormentas convectivas sobre la región. Este cambio en la circulación y el incremento de la actividad convectiva en México se conoce como el sistema del Monzón de Norteamérica.

El Monzón de Norteamérica

La definición oficial para el término «monzón» es un patrón de flujo superficial de viento persistente causado por calentamiento diferencial que cambia de dirección de una estación a otra (Greer, 1996). El monzón más estudiado en la tierra es el de la India, o Monzón de Asia del Sur, donde el calentamiento superficial de la altiplanicie tibetana durante el verano ocasiona que el aire húmedo y cálido y las tormentas del Océano Índico fluyan hacia el continente sobre el sur de Asia. Los cambios en la dirección de los vientos durante el invierno debido a un enfriamiento mayor del continente en relación al Océano Índico hace que las lluvias cesen. Esta variación en la dirección de los vientos, del mar al continente y luego en dirección contraria, ocurre cada año con el cambio de estaciones.

Norteamérica experimenta un cambio estacional de vientos similar que controla la precipitación de verano del sur y oeste de México y el suroeste de Estados Unidos. Este fenómeno se conoció originalmente como «monzón mexicano» (Douglas *et al.*, 1993), por estar centrado en el noroeste de

México, aunque también se ha reconocido ampliamente en la literatura con el término «Sistema del Monzón de Norteamérica» (SMNA) (Higgins *et al.*, 2003; Vera *et al.*, 2006). De junio a julio los vientos de niveles medios cercanos a los 3 000 m de altitud cambian de noroeste a sureste, al mismo tiempo que el sistema de alta presión de las Bermudas, que antes se encontraba centrado sobre el Atlántico del este, migra parcialmente hacia el noroeste en México y hacia el interior del suroeste de Estados Unidos. Las complejas interacciones entre el calentamiento superficial, la topografía y los patrones de circulación atmosférica de gran escala modulan la posición e intensidad del sistema de alta presión y permiten que la humedad se transporte, principalmente del Océano Pacífico tropical hacia el occidente de México, lo que da inicio a la estación húmeda de verano (Adams y Comrie, 1997). Existe un considerable debate sobre cuánta humedad contribuye el Golfo de México a la precipitación estacional del monzón, debido a la presencia de la SMO que funciona como barrera a este transporte de humedad (Hales, 1974; Douglas *et al.*, 1993) y también a la escasa cobertura espacial y temporal de las estaciones meteorológicas y a la importancia de la convección profunda en el transporte vertical y en el reciclamiento de la humedad (Higgins *et al.*, 2003). Los experimentos con modelos de predicción numérica han mostrado que durante el verano la humedad en niveles medios (por encima de los 3 000 m) puede fluir hacia el norte de México, desde el Golfo de México/Mar Caribe (Schmitz y Mullen, 1996), mientras que en los niveles bajos de la atmósfera la humedad del desierto sonoreño fluye desde el Golfo de California (Rasmusson, 1966, 1967 y 1968; Stensrud *et al.*, 1995; Mo y Berbery, 2004).

La actividad de tormentas de la estación monzónica de verano, de julio a septiembre, puede producir grandes cantidades de precipitación sobre Sonora y constituye la mayor proporción con respecto al total anual en la región. Si un grupo de nubes interactúa con algún grado de organización en una escala horizontal de cientos de kilómetros y un ciclo de vida de horas, se le denomina Siste-

ma Convectivo de Mesoscala (MCS, por sus siglas en inglés) (Farfán y Zehnder, 1994). Los MCS son comunes en Sonora durante el verano (Douglas *et al.*, 1987; Reyes y Mejía-Trejo, 1991). Algunas zonas elevadas de Sonora reciben más de setenta por ciento del total anual de lluvia durante los meses de julio a septiembre con totales de precipitación por encima de los 150 mm tan sólo en julio. Existe una enorme variabilidad estacional a lo largo de la región asociada a la actividad de tormentas y al volumen de precipitación. Los períodos activos de convección a menudo son seguidos por períodos de calmas en la actividad. Esta variabilidad parece estar relacionada con ajustes de gran escala en la posición e intensidad de los sistemas de alta presión del Pacífico Oriental y de las Bermudas. Las ondas del este (García y Trejo, 1994) que producen surgencias de humedad al norte del Golfo de California pueden fortalecer la actividad de tormentas del monzón hacia el norte de Sonora, mientras que el debilitamiento del sistema de alta presión de las Bermudas y el incremento del flujo seco del suroeste desde el Pacífico puede suprimir la actividad de tormentas hacia el sur. Esta alternancia entre actividad máxima y mínima es común a lo largo de la estación monzónica. Los períodos de lluvia persistente pueden incrementar la humedad del suelo a niveles importantes para los procesos ecológicos, pero durante períodos de calmas, cálidos y secos, los suelos pueden secarse rápidamente. El aprovechamiento de la humedad del suelo durante la estación de verano requiere que la vegetación sea capaz de responder y adaptarse rápidamente a las condiciones altamente variables; las plantas de medios áridos y semiáridos exhiben numerosas adaptaciones para persistir bajo estas condiciones (Schwinning *et al.*, 2004).

Las tormentas tropicales

La actividad de tormentas tropicales en el Pacífico Oriental también puede contribuir de manera significativa a la precipitación total anual en Sonora. En general, los ciclones tropicales se componen de varios grupos de sistemas clasificados por medio

de diferentes intensidades y éstos van desde los más débiles (perturbaciones y depresiones tropicales) hasta los más intensos (huracanes). En un nivel intermedio se encuentran las tormentas tropicales. Éstas pueden desplazarse hacia el Golfo de California o entrar a tierra directamente en Sonora o muy cerca del estado, produciendo enormes cantidades de lluvia (Jáuregui, 2003). Se ha estimado que estos fenómenos pueden contribuir con 16% de la precipitación anual, con intensidades que pueden ser superiores a 50 mm/24hr (Jáuregui, 1989). El máximo en la actividad de tormentas que impactan a Sonora ocurre durante septiembre y octubre. Las lluvias diarias que acompañan a estos eventos pueden exceder 30 mm y en casos extremos pueden superar los 150 mm (Englehart y Douglas, 2002), por lo que representan una fuente importante de agua dulce que contribuye a la recarga de acuíferos y llenado de las presas.

Variabilidad estacional e interanual de la precipitación

La posibilidad de que se presenten lluvias en Sonora ocurre durante dos estaciones, verano e invierno, con períodos secos en otoño y primavera. La energía y dinámica de la atmósfera necesarias para producir la precipitación durante estas dos estaciones se crea a partir de patrones de circulación de gran escala fundamentalmente diferentes. De ahí que la variabilidad estacional de la precipitación sea importante de entender. La posición geográfica de Sonora es sólo marginal con respecto a la intercepción de actividad de tormentas invernales asociadas a la corriente de chorro de latitudes medias. Durante la mayoría de los inviernos, los sistemas de baja presión y las trayectorias de los frentes fríos pasan muy al norte y sólo ocasionalmente lo hacen suficientemente al sur como para ocasionar temperaturas frescas y precipitación cuando la humedad está disponible. La posibilidad de que se presenten las lluvias de verano es más consistente año tras año, pero también puede variar entre los años. Sonora está localizada muy cerca de la región núcleo de actividad de tormentas asocia-

das con el sistema monzónico de verano, pero puede experimentar una alta variabilidad en las cantidades de precipitación durante el verano y entre veranos (variabilidad interanual) debido al cambio en la posición e intensidad de características de circulación atmosférica importantes como los sistemas subtropicales de alta presión del Pacífico Oriental y de las Bermudas (figura 1). Cambios mínimos en la posición e intensidad de estos tipos de circulación parecen estar conectados con cambios de escala global en los patrones de circulación relacionados con cambios en los patrones de temperatura superficial del mar (TSM, *v.g.*, El Niño-Oscilación del Sur) y pueden persistir por años y causar largos períodos de condiciones húmedas o secas en Sonora (Brito-Castillo *et al.*, 2003).

El Niño-Oscilación del Sur

El clima de Sonora se encuentra fuertemente influenciado por los patrones de temperatura superficial del mar en la región del Pacífico Ecuatorial (Magaña y Conde, 2000). Estos patrones son capaces de interrumpir la ubicación y trayectoria de las corrientes de chorro que transportan los sistemas meteorológicos invernales al suroeste de Estados Unidos y al norte de México. La precipitación de invierno es especialmente impactada y puede llegar a ser dramáticamente superior o inferior al promedio en función de las condiciones en el Pacífico.

Las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico tienden a oscilar con respecto a un valor definido como normal entre cálidas y frescas a lo largo del ecuador cada dos a siete años (Trenberth, 1997). Cuando las aguas son inusualmente cálidas en el Pacífico ecuatorial, desde el centro hacia la costa occidental de América, se dice que está ocurriendo un evento El Niño, mientras que por el contrario, cuando las aguas son inusualmente frías en esa misma región, se dice que está ocurriendo un evento La Niña. La presión atmosférica y los patrones de circulación se encuentran fuertemente relacionados con los cambios en la temperatura superficial del mar. En respuesta a la presencia de

aguas del mar cálidas se forman sistemas de presión superficial débiles y áreas extensas de tormentas, mientras aguas frescas fortalecen el tiempo claro y seco que acompaña a los sistemas de alta presión superficiales. El científico británico Sir Gilbert Thomas Walker publicó por primera vez las grandes oscilaciones de la presión atmosférica entre la India y el Océano Pacífico y su correlación con las pautas de temperatura y lluvias a lo largo de muchas regiones tropicales de la tierra, incluyendo a la India. Sus resultados ayudaron a entender los cambios que experimenta el campo de presiones entre Darwin y Tahití en el Océano Pacífico, pero no fue sino hasta la década de 1960 que se reconoció su relación con el fenómeno oceánico de El Niño (Rasmusson y Wallace, 1983), por lo que se acuñó el término El Niño/Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés). El Niño se refiere a los cambios periódicos en las temperaturas superficiales del mar (Cane, 1983), mientras que la Oscilación del Sur es la respuesta atmosférica a estos patrones (Rasmusson y Wallace, 1983).

Los eventos El Niño y La Niña modulan el movimiento de las corrientes de chorro subtropical y de latitudes medias (*i.e.*, Rasmusson y Wallace, 1983), que pueden favorecer o impedir los mecanismos de precipitación sobre Sonora. El patrón de circulación asociado con El Niño es una corriente de chorro subtropical intensificada que libera humedad y tiempo húmedo directamente en el norte de México y el suroeste de Estados Unidos. Los eventos La Niña se encuentran asociados a la presencia de un domo de alta presión que funciona como bloqueo (alta subtropical del Pacífico intensificada) sobre el oeste de Estados Unidos, el cual dirige las tormentas invernales hacia el norte de Estados Unidos y deja sequía en Sonora.

Debido a la influencia en la cantidad de precipitación invernal, la ciclicidad entre eventos El Niño y La Niña tiene implicaciones muy prolongadas en los patrones de variabilidad de la precipitación. Se cree que los eventos persistentes de La Niña durante la década de 1950 fueron los causantes de precipitaciones invernales por debajo del promedio sobre el norte de México y, de una ex-

tensión mayor, sobre la región del oeste de Estados Unidos, lo que dio origen a un período largo de sequía (Cole y Cook, 1998). En contraste, el período comprendido desde mediados de la década de 1970 hasta finales de la de 1990 fue húmedo, asociado con el incremento en la frecuencia de la actividad de El Niño.

La relación entre el ENSO y la precipitación de invierno para Sonora no es lineal. La conexión entre la precipitación de invierno por debajo del promedio y eventos La Niña es más intensa que aquella que existe entre la precipitación de invierno por arriba del promedio y eventos El Niño. Los eventos La Niña tienden a favorecer la intensificación del sistema de alta presión del Pacífico Oriental, que es especialmente efectiva en conducir la actividad de tormentas fuera de los límites de Sonora y limita la humedad necesaria para la precipitación. Los eventos El Niño tienden a aparecer con diferentes características en relación a su intensidad general y al patrón de temperaturas superficiales del mar a través del Pacífico (Hoerling y Kumar, 2002). Las características diferentes de El Niño pueden crear variaciones en la posición e intensidad de la corriente de chorro subtropical y éstas pueden a su vez variar entre eventos, por lo que eventos distintos de El Niño pueden acarrear precipitaciones por debajo o por arriba del promedio en función de la posición e intensidad de sus características.

La conexión entre el ENSO y la precipitación de verano en Sonora es menos clara que durante la estación de invierno. Muchos estudios han examinado la posible conexión entre la precipitación de la estación cálida sobre el norte de México y la fase del ENSO, pero han fracasado en identificar una relación consistente. Reyes y Mejía Trejo notaron en su estudio hecho en 1991 que la precipitación de verano puede ser intensificada cuando le sigue a eventos El Niño de invierno/primavera debido a la intensificación de la actividad de tormentas tropicales y al flujo de humedad sobre el noroeste de México. El estudio realizado por Castro *et al.* (2001) concluye que la intensidad del domo subtropical del monzón fue más débil durante even-

tos El Niño y que creó precipitaciones de verano por debajo del promedio en México y el suroeste de Estados Unidos. Ambos estudios sugieren que existen diferentes relaciones entre el ENSO y la precipitación de verano y que al parecer varían entre eventos específicos. Se requiere más investigación para identificar si existe una relación mucho más generalizada.

La Oscilación Decadal del Pacífico

Los registros históricos y las reconstrucciones paleoclimáticas de precipitación sobre el norte de México muestran una variabilidad adicional que ocurre en escalas de tiempo más largas que el período de 2-7 años característico del ENSO. Los períodos húmedos y secos persistentes, de varias décadas, están presentes en los registros del clima de Sonora. Períodos extensos de sequía ocurrieron durante la década de 1950 y a finales de la de 1990, mientras que el último período, en la década de 1970, fue inusualmente húmedo (Brito-Castillo *et al.*, 2003). El causante potencial de esta variabilidad de largo período en la precipitación es un fenómeno conocido como Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés). El PDO se manifiesta como cambios decadales en la temperatura superficial del mar y los patrones de circulación en el Pacífico Norte (Mantua *et al.*, 1997). Durante la fase positiva (o negativa) del PDO, las temperaturas superficiales del mar a lo largo de las costas de Norteamérica están por arriba (o por abajo) del promedio con un sistema de baja presión intensificado (o debilitado) en el golfo de Alaska.

La fase del PDO es importante para Sonora debido a su aparente conexión con la actividad del ENSO y con los patrones de teleconexión (McCabe y Dettinger, 1999; Brown y Comrie, 2004; Pavia *et al.*, 2006). El patrón de teleconexión de invierno, de condiciones húmedas durante eventos El Niño, tiende a ser más intenso cuando el PDO se encuentra en su fase positiva. La situación inversa durante la fase negativa del PDO también resulta cierta, cuando la teleconexión de inviernos secos-La Niña es más evidente. Hay controversia sobre

el origen y mecanismos del PDO así como de su papel en la modulación de los regímenes de precipitación local. Hay un consenso creciente de que el PDO es un reflejo de largo período de la variabilidad del ENSO en el Pacífico Norte en lugar de ser un modo de variabilidad atmosférica independiente (Newman *et al.*, 2003; Schneider y Cornuelle, 2005). No obstante, el PDO parece representar un mecanismo atmosférico de largo período que puede impactar las cantidades de precipitación sobre el estado de Sonora por lapsos extensos (Brito-Castillo *et al.*, 2002).

La Oscilación Multidecadal del Atlántico

Investigaciones recientes han implicado también una variabilidad de largo período en los patrones de temperatura superficial del mar a través del Océano Atlántico con la variabilidad del clima de Norteamérica. McCabe *et al.* (2004) sugieren que la fase entre el PDO y los cambios de largo período en los patrones de temperatura superficial del Océano Atlántico (Oscilación Multidecadal del Atlántico o AMO, por sus siglas en inglés) (Barnston y Livezey, 1987; Enfield *et al.*, 2001) favorecen los patrones de circulación que pueden originar períodos muy extendidos (de 10 a 30 años) de condiciones secas en el oeste de Estados Unidos y el norte de México. El impacto de la AMO sobre el clima de Norteamérica por sí solo parece ser más intenso durante la estación de verano (Sutton y Hodson, 2005). La AMO puede modular la intensidad y posición del sistema de alta presión subtropical de las Bermudas que, en consecuencia, impacta el flujo de humedad sobre el Golfo de México y el interior de México durante la estación monzónica. Se necesita realizar más investigación para identificar la sinergia o independencia de los impactos de las oscilaciones atmosféricas y oceánicas de gran escala como el PDO y la AMO sobre los regímenes de precipitación de largo período en el norte de México.

Los sistemas meteorológicos por regiones

Pese a toda la variedad de elementos que contro-

lan el clima de Sonora, se han realizado algunos esfuerzos por identificar la contribución de los sistemas meteorológicos capaces de causar nubosidad y lluvia en el estado, aunque es necesario aclarar que éstos se han realizado regionalmente (véase, por ejemplo, Douglas y Englehart, 2007). En el estudio realizado por García y Trejo (1994) se consideran tres regiones para el estado de Sonora (Desierto de Altar, Llanura Costera del Pacífico y Norte de la SMO) y mediante el análisis de 15 años de imágenes de satélite diarias, en conexión con las cartas del tiempo producidas por el Servicio Meteorológico Nacional, se identificaron los sistemas meteorológicos que podían causar nubosidad y posible lluvia en éstas. Para la región del Desierto de Altar, que cubre parte del noroeste de Sonora (véase García y Trejo, 1994), existe un marcado equilibrio en la contribución a la generación de nublados y lluvias anuales de los sistemas meteorológicos de invierno (de noviembre a abril), como los vientos del oeste, la corriente de chorro y los frentes extratropicales, lo mismo que en los de verano (mayo a octubre), como los vientos alisios del este y noreste, los ciclones tropicales y el Monzón. Estos sistemas, de acuerdo con García y Trejo (1994), contribuyen con 49.8 y 50.2% en cada estación, respectivamente. Este equilibrio es mucho más evidente hacia la porción noroccidental de Sonora, donde las lluvias de invierno van siendo cada vez más dominantes en relación con las lluvias de verano. En el caso de la región de la llanura costera del Pacífico, que cubre el sur del estado, y la región del norte de la SMO, que cubre la porción nororiental de Sonora, los sistemas meteorológicos de verano dominan sobre los de invierno, con una contribución equivalente a 58.5 y 60.2% en cada región, respectivamente.

TEMPERATURA

Sonora es un estado donde se presentan veranos muy calurosos e inviernos muy fríos, puesto que aquí convergen masas de aire de diferente temperatura y contenido de humedad. Una masa de aire

es un volumen inmenso de aire que cubre miles de kilómetros de superficie horizontal, uniforme en cuanto a su temperatura y contenido de humedad. Las masas de aire cambian sus características e intercambian calor y humedad sobre el territorio donde se desplazan cuando ascienden sobre una zona montañosa o por calentamiento o enfriamiento radiacional. De hecho, los desiertos del norte de México, como el sonorese, son zonas de origen de una masa de aire continental tropical cálida y seca que se desarrolla en verano y produce las altas temperaturas estivales. En verano, en 74.2% del territorio sonorese las temperaturas llegan a ser superiores a 40° C a la sombra. Las temperaturas más altas se presentan en los meses de junio o julio, con un segundo máximo que muchas estaciones registran en septiembre y que es típico de las zonas intertropicales. Por el contrario, cuando la masa de aire polar continental ingresa a territorio sonorese en invierno, ya sea en forma de nortes, vórtices fríos o depresiones ciclónicas (Mosiño, 1958; Mosiño y García, 1973; García, 1989), se alcanzan los mínimos de temperatura, lo que genera nevadas en algunas partes de la SMO. En invierno, en 68.2% del territorio sonorese las temperaturas pueden llegar a ser inferiores a 0° C. Cuando la temperatura se reduce por debajo de los 0° C hay ocurrencia de heladas, muy comunes en enero (más de cien al norte de la SMO), que es cuando la temperatura se reduce por debajo de los -4° C (Maderrey-Rascón *et al.*, 2001). Las heladas ocurren en una porción considerable del desierto sonorese (Turner *et al.*, 2003), con excepción de las zonas costeras, donde las temperaturas mínimas promedio anuales oscilan entre 12 y 22° C. La ocurrencia de heladas limita fuertemente la distribución de especies de las selvas bajas y matorrales espinosos en Sonora y Sinaloa que llegan a penetrar en el desierto sonorese (Shreve, 1934). Las heladas pueden llegar a matar individuos de especies vegetales al rebasar sus límites mínimos de tolerancia, con lo que se altera la composición de especies y la estructura de las comunidades (Turner *et al.*, 2003). Otro fenómeno que incide en los valores de temperatura es la nubosidad, la cual reduce las tempe-

raturas máximas durante el día e incrementa las temperaturas mínimas durante la noche (Easterling *et al.*, 1997). En Sonora, la cantidad promedio de días nublados anuales se reduce de 120 al sureste del estado, sobre la SMO, a menos de 40 en el extremo noroeste sobre el desierto de Altar (Jáuregui, 1970).

En cuanto a la distribución de las zonas térmicas, menos de 1% del territorio sonorese presenta temperaturas medias anuales inferiores a 12° C (tabla 1), las cuales corresponden a la clasificación de semifrías y cubren principalmente una fracción reducida de la SMO hacia el oriente del estado (figura 2). La mayor proporción del territorio sonorese (68.3%) presenta temperaturas medias anuales entre 18 y 22° C, las cuales corresponden a la clasificación de semicálidas y se distribuyen principalmente hacia el oeste y noroeste del estado, donde se localiza el desierto de Altar. El sur del estado presenta predominantemente temperaturas medias anuales entre 22 y 26° C, las cuales corresponden a la clasificación de cálidas (tabla 1 y figura 2). Debido a que la humedad aumenta hacia el sur del estado, el incremento de las temperaturas medias anuales involucra una mayor evapotranspiración, por lo que el tipo de vegetación existente en el sur se diferencia de los tipos de vegetación localizados más hacia el norte. La vegetación en el sur está más íntimamente ligada a la selva baja caducifolia y al matorral espinoso (Felger, 1993; Brown y Lowe, 1994).

Tabla 1. Superficie cubierta por cada uno de los intervalos de temperatura media anual presentes en el estado de Sonora

Temperatura (°C)	Zona térmica	Área (miles de km ²)	% estatal
8 a 10	Semifría	0.002	0.001
10 a 12		0.40	0.22
12 a 14	Templada	2.14	1.20
14 a 16		11.11	6.22
16 a 18		14.55	8.14
18 a 20	Semicálida	29.26	16.37
20 a 22		80.30	44.91
22 a 24	Cálida	37.65	21.06
24 a 26		3.39	1.89

Tendencias actuales en la temperatura

Debido al gran interés que ha despertado el tema del calentamiento global (Easterling *et al.*, 1997; Houghton *et al.*, 2001) y a la necesidad de estudiar la respuesta de los ecosistemas a este fenómeno, resulta necesario mencionar dicho tema para el caso de Sonora. A inicios de 1900 las heladas severas en el desierto de Sonora ocurrían cada dos a tres años (Webb, 1996; Turner *et al.*, 2003). Esta frecuencia se redujo de manera irregular durante el siglo XX a tal punto que ahora las heladas en el desierto de Sonora ocurren cada dos décadas o más (Weiss y Overpeck, 2005) debido al incremento de las temperaturas mínimas cuya tendencia se ha mantenido en los últimos cuarenta años, con lo que se incrementó la temporada libre de heladas y disminuyeron los días con temperaturas inferiores a 0° C. En el caso de las temperaturas máximas en Sonora, éstas se están incrementando a un ritmo más acelerado que las temperaturas mínimas, provocando que a partir de 1970 la tendencia en la oscilación térmica diaria (OTD), esto es, la temperatura máxima menos la temperatura mínima en el día, sea positiva (Englehart y Douglas, 2005). No está claro todavía de qué manera ha contribuido el incremento de los gases de invernadero en la atmósfera a este calentamiento regional pero se sugiere que los cambios en el uso del suelo, así como la degradación provocada por el sobrepastoreo, que reduce la cubierta vegetal y disminuye la transpiración, hacen que la temperatura del suelo se eleve y se incremente el flujo de calor sensible en relación con el flujo de calor latente, lo que promueve el calentamiento de las temperaturas máximas e incrementa la OTD (DeFries *et al.*, 2002; Englehart y Douglas, 2005).

PRECIPITACIÓN

Características de la precipitación en Sonora

Ya se han discutido los mecanismos principales de gran escala que controlan en Sonora la precipita-

ción de invierno y de verano de un año a otro, pero no así la naturaleza de la precipitación en cada estación. La intensidad, duración, frecuencia y tipo de precipitación son todas críticas de cuánta agua está disponible y cuándo lo está para la vegetación. Las precipitaciones de invierno están relacionadas generalmente con circulaciones atmosféricas de latitudes medias como los sistemas de baja presión y frentes fríos. Éstas son producidas a partir de las tormentas extratropicales del Pacífico (Jáuregui, 1995) que se asocian con la penetración de la corriente de chorro polar (Brito-Castillo *et al.*, 2003) y con vaguadas intensas (García y Trejo, 1994; Jáuregui, 1995) y que en ocasiones interactúan con la corriente de chorro subtropical (Douglas y Englehart, 1984). Estos sistemas producen áreas extensas de precipitación con bajas intensidades en períodos largos (de horas a días). La precipitación puede a menudo caer y acumularse en forma de nieve en las áreas elevadas. Estos eventos de baja intensidad y larga duración pueden permitir que la precipitación se infiltre a mayor profundidad en áreas con poca pendiente y poco escurrimiento superficial. Las temperaturas frescas y el ángulo solar bajo durante el invierno también mantienen bajas las tasas de evapotranspiración, lo que permite que el agua permanezca en el suelo por períodos más largos.

La precipitación de verano, en contraste, se caracteriza por ser local, de alta intensidad y corta duración y por mostrar una alta variabilidad en pocos kilómetros (Gochis *et al.*, 2004). El Sistema del Monzón de Norteamérica transporta la humedad hacia Sonora y crea un medio favorable para las masas de aire de tormentas. Las masas de aire de tormentas no se originan o se ajustan por características de circulación de gran escala, sino por características topográficas de escala menor. Estas tormentas convectivas pueden producir altas tasas de lluvia (>25 mm/hr), pero a menudo son de corta duración (<5 hrs) y pequeñas en cobertura (<10 km de amplitud). Las cuencas de drenaje que reciben la lluvia a partir de tormentas convectivas pueden experimentar inundaciones repentinas que retroceden rápidamente tan pronto la tormenta se ha disipado. Bajo estas condiciones puede infiltrarse

algo de agua hacia el suelo pero el mayor volumen se pierde por escurrimiento. En la región montañosa de la parte media del estado la lluvia media diaria es del orden de 5 mm/día (Gochis *et al.*, 2004) y el máximo mensual y estacional se localiza en la vertiente occidental de la SMO. El eje de máxima precipitación se aleja de las partes altas de la sierra en su trayectoria de sur a norte, lo que indica que la distancia al Golfo de California y el relieve son factores importantes de este comportamiento. Las lluvias diarias ocurren muy temprano en el día y con mayor frecuencia sobre las partes elevadas de la SMO, pero con poca intensidad. En cambio, en zonas poco elevadas, la precipitación no es frecuente, pero ocurre con gran intensidad (Gochis *et al.*, 2004) y está desplazada hacia la tarde y noche (Berbery, 2001).

El inicio de las lluvias usualmente es momentáneo, con cambios abruptos de un tiempo caluroso y seco a uno más húmedo y menos caluroso (Higgins *et al.*, 2003). En las laderas occidentales de la SMO la lluvia total media mensual, durante el verano, excede los 30 cm, lo que provoca, en el transcurso de seis a ocho semanas, el reverdecimiento de la vegetación y cambios drásticos en el paisaje árido hacia condiciones típicas de bosque tropical. El incremento de la precipitación coincide con el incremento del transporte vertical de la humedad por convección (Douglas *et al.*, 1993) y la ocurrencia de vientos del sur que soplan hacia el norte del Golfo de California (Badán-Dangón *et al.*, 1991; Bordoni *et al.*, 2004), los cuales constituyen una fuente importante de surgencias de humedad hacia el desierto sonorense (Schmitz y Mullen, 1996) que afectan en gran medida las regiones costeras de poca elevación (Gochis *et al.*, 2004) y contribuyen a la alta variabilidad estacional de las lluvias. Las altas temperaturas y la radiación solar intensa provocan que las plantas utilicen rápidamente el agua disponible después de los eventos de lluvia antes que la humedad se evapore. Los suelos se secan muy rápido después de una tormenta, lo que fuerza a las plantas a conservar el agua y los recursos hasta que ocurran las siguientes lluvias.

La precipitación total anual en el estado de So-

nora decrece de sur a norte y de este a oeste y alcanza más de 1 000 mm en una porción que es inferior a 1% del territorio estatal (tabla 2) localizada al occidente y sureste del estado (figura 3). En contraste, la lluvia anual es inferior a 50 mm en el extremo noroeste, una pequeña porción de territorio que cubre 0.23% de la superficie estatal. En 18.3% de la entidad la lluvia anual es inferior a 200 mm a lo largo de la planicie costera (figura 3), mientras que en 70.5% del territorio estatal ésta se presenta entre 200 y 600 mm en una franja que corre de noroeste a sureste en la porción media del estado. En el 11.2% restante la precipitación total anual es superior a 600 mm, distribuida principalmente hacia el sureste de Sonora, en las partes más elevadas (figura 3).

Tabla 2. Superficie cubierta por intervalos de precipitación anual

Intervalo de precipitación (mm)	Área (miles de km ²)	% estatal
Menos de 50	0.41	0.23
50 a 100	7.78	4.35
100 a 200	24.53	13.72
200 a 300	32.86	18.37
300 a 400	30.18	16.88
400 a 500	33.79	18.89
500 a 600	29.29	16.38
600 a 800	13.52	7.56
800 a 1 000	5.71	3.20
Más de 1 000	0.76	0.43

CLIMA

El estado de Sonora se ubica al norte del Trópico de Cáncer y, como ya se ha mencionado, se encuentra bajo la influencia del cinturón de altas presiones del hemisferio norte, lo que incide fuertemente en las condiciones de aridez del estado (Schmidt, 1989). La celda semipermanente de alta presión del Pacífico Nororiental y la corriente fría de California determinan que en 95% del territorio sonorense los climas sean muy áridos, áridos y semiáridos (Mosiño y García, 1973). Según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1988), en Sonora se identifican 24 tipos dis-

tintos de climas (figura 4), de los cuales, los que mayor cobertura tienen son los muy áridos o muy secos, los cuales ocupan 42.2% del territorio (tabla 3) y se caracterizan por su precipitación inferior a 400 mm al año y por su temperatura media anual de 18 a 26° C; son considerados extremos, ya que su oscilación térmica es mayor a 14° C. Se distribuyen en una extensa franja de terreno paralela a la costa, que va desde el límite con Sinaloa—ensanchándose en el norte— hasta la porción noroccidental en la frontera con Estados Unidos. Los gráficos de las figuras 5a y 5b muestran el comportamiento térmico y la distribución mensual de la lluvia a lo largo del año, en estaciones características de estos tipos de climas cuya ubicación en el terreno se puede consultar en la figura 4. Con base en su temperatura y el régimen de lluvias, estos climas se subdividen en cálidos con lluvias en verano en el sur (estación Presa Álvaro Obregón, Oviachic), cálidos con lluvias todo el año en el centro (estación El Orégano, Hermosillo) y semicálidos con lluvias todo el año en el noroeste (estación Riito, San Luis Río Colorado). Los climas muy áridos cálidos con lluvias en verano tienen influencia en la zona costera, del centro hacia el sur, y comprenden 8% del territorio estatal. En el centro se distribuye en los alrededores de Hermosillo, Miguel Alemán y El Triunfo, así como en una mínima porción al suroeste de Caborca. Hacia el sur lo hace por Guaymas, Empalme, Ciudad Obregón, Navojoa y Huatabampo. La estación Presa Álvaro Obregón, característica de estos climas, muestra que las lluvias de julio a septiembre concentran la mayor proporción en relación con las lluvias anuales, con un máximo en el mes de agosto (figura 5a). Cabe mencionar, sin embargo, que más hacia el occidente, en la zona costera, el máximo de lluvias se desplaza a septiembre. Los climas muy áridos con lluvias todo el año se distribuyen predominantemente en los terrenos situados al centro entre los cálidos con lluvias en verano y semicálidos con lluvias todo el año. La estación El Orégano, Hermosillo (figura 5a), característica de este tipo de climas, muestra que las lluvias de invierno se incrementan ligeramente en relación con los otros ti-

pos, pero siguen siendo las lluvias de verano las que predominan, con el máximo de lluvias presente en el mes de julio. La estación Riito, San Luis Río Colorado, situada más hacia el norte, donde predominan los climas muy áridos semicálidos, muestra que las lluvias de verano son inferiores en volumen a las lluvias de invierno, lo que indica que, para el caso de Sonora, las lluvias provenientes de los frentes extratropicales de invierno van cobrando mayor importancia en relación con las lluvias monzónicas en esta parte del estado.

Los climas áridos influyen en los terrenos situados al este de los que presentan climas muy áridos; ocupan cerca de 22% del estado y se extienden en una franja orientada noroeste-sureste, con prolongaciones hacia las zonas montañosas (figura 4). También comprenden las tierras localizadas entre Agua Prieta, Villa Hidalgo y Bavispe. La altitud de estas áreas varía de 600 a 1 400 m, pero dominan las menores a 1 000 m; entre ellas cabe destacar los valles y cañones de los ríos San Miguel de Horcasitas, Moctezuma y Yaqui, lo mismo que los sitios donde se ubican las presas Plutarco Elías Calles, Álvaro Obregón y La Angostura. Con respecto a su temperatura media anual, se dividen en: cálidos (con valores de 22° C en adelante), los cuales se distribuyen del centro hacia el sur del estado, como la estación Sahuaripa, Sahuaripa (SMN) (figura 5a); semicálidos (entre 18 y 20° C), del centro hacia el norte, y templados (entre 12 y 18° C), en el noreste, como la estación Agua Prieta y la colonia Ruiz Cortínez (cortina). Obsérvese que en esta estación las lluvias pueden presentarse todo el año, con abundantes volúmenes durante la época invernal, particularmente en los climas áridos templados y, en menor proporción, en los climas áridos cálidos (figura 5a). Los climas semiáridos se distribuyen hacia el este de los climas áridos (figura 4), ocupan 29.4% de la entidad (tabla 3) y se extienden en una franja orientada de noroeste a sureste. Con respecto a su temperatura media anual y el régimen de lluvias se dividen en: templados (entre 12 y 18° C), con lluvias de verano, distribuidos en el norte de la entidad, donde las alturas superan los 1 000 m, como la estación Bacanuchi, Arizpe (figura 5a); se-

Tabla 3. Superficie del estado cubierta por cada tipo de clima

Tipo climático ^a	Símbolo ^b	Régimen de lluvias ^c	Área (miles de km ²)	% estatal
Muy árido cálido	BW(h')w	Verano (5 a 10.2)	14.35	8.02
Muy árido cálido	BW(h')(x')	Todo el año (>18)	6.96	3.89
Muy árido semicálido	BWh(x')	Todo el año (>18)	54.11	30.25
Árido cálido	BS ₀ (h')w	Verano (5 a 10.2)	7.01	3.92
Árido cálido	BS ₀ (h')(x')	Todo el año (>18)	6.90	3.86
Árido semicálido	BS ₀ hw	Verano (5 a 10.2)	0.05	0.03
Árido semicálido	BS ₀ h(x')	Todo el año (5 a 10.2)	23.23	12.99
Árido templado	BS ₀ k(x')	Todo el año (>18)	2.42	1.35
Semiárido templado	BS ₁ k(x')	Verano (>18)	17.44	9.75
Semiárido semicálido	BS ₁ h(x')	Todo el año (>18)	23.06	12.89
Semiárido semicálido	BS ₁ hw	Verano (5 a 10.2)	6.25	3.49
Semiárido cálido	BS ₁ (h')(x')	Todo el año (>18)	0.64	0.36
Semiárido cálido	BS ₁ (h')w	Verano (5 a 10.2)	5.19	2.90
Semicálido subhúmedo (intermedio)	(A)C(w ₁)	Verano (5 a 10.2)	0.40	0.22
Semicálido subhúmedo (menos húmedo)	(A)C(w ₀)	Verano (5 a 10.2)	2.03	1.13
Semicálido subhúmedo (menos húmedo)	(A)C(w ₀)x'	Verano (>10.2)	0.37	0.20
Templado subhúmedo (más húmedo)	C(w ₂)	Verano (5 a 10.2)	0.36	0.20
Templado subhúmedo (más húmedo)	C(w ₂)x'	Verano (>10.2)	0.55	0.31
Templado subhúmedo (intermedio)	C(w ₁)	Verano (5 a 10.2)	0.23	0.13
Templado subhúmedo (intermedio)	C(w ₁)x'	Verano (>10.2)	4.08	2.28
Templado subhúmedo (menos húmedo)	C(w ₀)	Verano (5 a 10.2)	0.02	0.01
Templado subhúmedo (menos húmedo)	C(w ₀)x'	Verano (>10.2)	2.81	1.57
Cálido subhúmedo (menos húmedo)	Aw ₀	Verano (5 a 10.2)	0.02	0.01
Semifrío subhúmedo	Cb ² (w ₂)x'	Verano (> 10.2)	0.40	0.23

^a Cálido (temperatura media anual >22° C); semicálido (temperatura media anual entre 18 y 22° C); semifrío (temperatura media anual entre 5 y 12° C). Los grados de humedad se definen por la relación lluvia/temperatura en húmedo. ^b Según el sistema de clasificación de Copen modificado por García (1988). ^c Se refiere al porcentaje de lluvia invernal (enero a marzo) con respecto a la lluvia total anual.

micálidos (entre 18 y 22° C), con lluvias todo el año, distribuidos al centro-norte del estado, donde las lluvias anuales pueden variar de 300 a 1 000 mm, como la estación Mazatán, Mazatán (figura 5b), y con lluvias de verano, distribuidos al centro-sur de la entidad; cálidos (entre 22 y 26° C), con lluvias todo el año (entre 500 y 800 mm), distribuidos al centro del territorio, y con lluvias en verano, distribuidos al sur de la entidad, como la estación Minas Nuevas, Álamos (SMN) (figura 5b). En menor proporción y distribuidos mayoritariamente hacia el oriente del estado, en la zona montañosa, donde las alturas superan los 1 000 m, se localizan los climas semicálidos subhúmedos (1.56%), como la estación Los Algodones, Álamos (figura 5b); templados subhúmedos (4.5%), como las estaciones Yécora, Yécora (DGE), Mulatos,

Sahuaripa (SMN) y San Javier, San Javier; cálidos subhúmedos (0.01%) y semifríos subhúmedos (0.23%).

RELACIÓN ENTRE EL CLIMA Y LA VEGETACIÓN

Las plantas poseen una gran sensibilidad a los numerosos factores físicos y biológicos que interactúan en el medio ambiente y que influyen en las características estructurales, florísticas y de diversidad de una comunidad vegetal (Rzedowski, 1978; Foster, 1980; Medina, 1995; Mooney *et al.*, 1995). Por ejemplo, el límite norte de la distribución de muchos organismos del matorral espinoso y de la selva baja, y en especial de las plantas perennes, es-

tá limitado por heladas severas (Felger, 1993). De igual forma, la riqueza de especies de hábito trepador está limitada por las temperaturas mínimas de enero (Molina-Freaner *et al.*, 2004). La evidencia sobre esta restricción en la distribución de especies proviene de observaciones sobre daño en el tejido vegetal durante las heladas que ocurren en la región (Shreve, 1914; Turnage y Hinckley, 1938; Jones, 1979) y las correlaciones que existen entre la distribución de especies y las temperaturas de invierno (Shreve, 1911 y 1914; Molina-Freaner *et al.*, 2004). Por otra parte, la humedad del suelo puede también afectar significativamente la distribución de las plantas en las zonas áridas (Shreve, 1951; Noy-Meir, 1973). Sin embargo, la influencia de la humedad del suelo en la distribución de plantas del estado de Sonora no está bien documentada.

Considerando las cartas de climas, temperaturas y precipitación (García, 1997a, 1997b y 1997c) proporcionadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad, junto con la clasificación de comunidades bióticas de Brown y Lowe (1994), se establecieron las relaciones entre los tipos de vegetación que se encuentran en Sonora y las condiciones climáticas en las que se establecen (tabla 4). A partir de los resultados presentados en la tabla 4, se observa que para cada tipo de vegetación hay más de un tipo de clima y, con-

secuentemente, de intervalos amplios de condiciones térmicas y de lluvia anual donde éstos coexisten. La vegetación de matorral desértico se desarrolla principalmente en los climas muy árido y árido. El matorral espinoso se desarrolla principalmente en el grupo de climas áridos y muy áridos. Este tipo de vegetación se ha adaptado muy bien a condiciones con un amplio rango de temperaturas (de 14° a 24°C) y lluvias (de menos 50 a 800 mm) (tabla 4). La selva baja se desarrolla principalmente en los climas semiáridos y áridos, mientras que los bosques de coníferas se desarrollan principalmente en los climas templados y en los semiáridos. Otro tipo de vegetación como el pastizal se desarrolla principalmente en climas semiáridos, sobre todo en el norte y extremo nororiental de Sonora. En resumen, se puede decir que, aunque los diferentes tipos de vegetación pueden establecerse en condiciones climáticas muy diversas, éstos muestran preferencia por algún tipo de clima.

Para concluir, es importante mencionar los cambios que se están documentando en el clima de Sonora y las tendencias observadas en las temperaturas mínimas (Weiss y Overpeck, 2005) y máximas que, junto con el sobrepastoreo y la sobreexplotación de los recursos naturales, se espera que tengan un impacto significativo en los ecosistemas de Sonora, por lo que resulta necesario realizar investigación sobre sus consecuencias ecológicas.

Tabla 4. Relación entre los tipos de vegetación que se encuentran en Sonora y las condiciones climáticas en las que se establecen

Tipo de vegetación	Tipo de clima	Temperatura media anual (°C)	Lluvia anual (mm)
Matorral desértico	BWh(x'), BW(h')w, BS ₀ h(x'), BW(h')x'	14 a 24	<50 a 500
Matorral espinoso	BWh(x'), BW(h')(x'), BW(h')w, BS ₀ (h')w, BS ₀ h(x'), BS ₀ k(x'), BS ₀ hw, BS ₀ (h')w, BS ₀ (h')(x'), BS ₁ h(x'), BS ₁ k(x'), BS ₁ hw, BS ₁ (h')w, C(w ₀)x'	14 a 24	<50 a 800
Pastizal	BS ₀ h(x'), BS ₀ k(x'), BS ₁ h(x'), BS ₁ k(x'), Bwh(x'), C(w ₁)x', C(w ₀)x'	12 a 22	100 a 1000
Bosque de coníferas	Aw ₀ , (A)C(w ₁), (A)C(w ₀), (A)C(w ₀)x', BS ₀ h(x'), BS ₀ k(x'), BS ₀ (h')(x'), BS ₁ hw, BS ₁ h(x'), BS ₁ k(x'), BS ₁ (h')w, BS ₁ (h')(x'), Cb'(w ₂)x', C(w ₁), C(w ₁)x', C(w ₂), C(w ₂)x', C(w ₀), C(w ₀)x'	8 a 26	200 a 1200
Selva baja	Aw ₀ , (A)C(w ₁), (A)C(w ₀), (A)C(w ₀)x', BS ₀ h(x'), BS ₀ (h')w, BS ₀ (h')(x'), BS ₁ hw, BS ₁ h(x'), BS ₁ k(x'), BS ₁ (h')w, BS ₁ (h')(x'), BW(h')w, C(w ₁), C(w ₁)x', C(w ₂), C(w ₂)x', C(w ₀), C(w ₀)x'	14 a 26	300 a 1200

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y a la Universidad de Guadalajara por el apoyo recibido en la realización de este capítulo. Este trabajo fue posible gracias al apoyo otorgado por los proyectos S0013-2006-1-48492 y J-50757-F de Conacyt y PC-3.7 del Cibnor.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, D.K. y A.C. COMRIE. 1997. The North American Monsoon. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 2197-2213.
- BADÁN-DANGÓN, A., C.E. DORMAN, M.A. MERRIFIELD y C.D. WINANT. 1991. The Lower Atmosphere over the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research* 96: 16877-16896.
- BARNSTON G. y LIVEZEY R.E. 1987. Classification, Seasonality and Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review* 115: 1083-1126.
- BERBERY, E.H. 2001. Mesoscale Moisture Analysis of the North American Monsoon. *Journal of Climate* 14: 121-137.
- BORDONI, S., P.E. CIESIELSKI, R.H. JOHNSON, B.D. McNOLDY, y B. STEVENS. 2004. The Low-Level Circulation of the North American Monsoon as Revealed by QuikSCAT. *Geophysical Research Letters* 31, L10109, doi: 10.1029/2004GL020009.
- BRITO-CASTILLO, L., A. LEYVA-CONTRERAS, A.V. DOUGLAS y D. LLUCH-BELDA. 2002. Pacific Decadal Oscillation and the Filled Capacity of Dams on the Rivers of the Gulf of California Continental Watershed. *Atmósfera* 15: 121-138.
- BRITO-CASTILLO L., A.V. DOUGLAS, A. LEYVA-CONTRERAS y D. LLUCH-BELDA. 2003. The Effect of Large-Scale Circulation on Precipitation and Streamflow in the Gulf of California Continental Watershed. *International Journal of Climatology* 23: 751-768.
- BROWN D.E., y C.H. LOWE. 1994. Biotic Communities of the Southwest. En: D.E Brown, ed., *Biotic Communities Southwestern United States and Northwestern Mexico*. University of Utah Press, pp. 342.
- BROWN, D.P. y A.C. COMRIE. 2004. Spatial Variability of Fall ENSO-Winter Precipitation Relationships in the Western United States. *Geophysical Research Letters* 31.
- CANE, M.A. 1983. Oceanographic Events during El Niño. *Science* 222: 1189-1195.
- CASTRO, C.L., T.B. MCKEE y R.A. PIELKE. 2001. The Relationship of the North American Monsoon to Tropical and North Pacific Sea Surface Temperatures as Revealed by Observational Analyses. *Journal of Climate* 14: 4449-4473.
- COLE, J.E. y E.R. COOK. 1998. The Changing Relationship between ENSO Variability and Moisture Balance in the Continental United States. *Geophysical Research Letters* 25: 4592-4532.
- DEFRIES, R.S., L. BOUNOUA y G.J. COLLATZ. 2002. Human Modifications of the Landscape and Surface Climate in the Next Fifty Years. *Global Change Biology* 8: 438-458.
- DOUGLAS, A.V., R.H. BLACKMON y PH.J. ENGLEHART. 1987. Mesoscale Convective Complexes in Extreme Western Mexico. A Regional Response to Broad-scale Drought. En: *Proceedings of the 11th Annual Climate Diagnostics Workshop*. U.S. Department of Commerce, NASA, pp. 129-140.
- DOUGLAS, A.V. y PH.J. ENGLEHART. 1984. Factors Leading to the Heavy Precipitation Regimes of 1982-83 in the United States and Mexico. En: *Proceedings of the Eight Annual Climate Diagnostics Workshop*. U.S. Department of Commerce, NOAA, pp 42-55.
- DOUGLAS, A.V. y PH.J. ENGLEHART, 2007. A Climatological Perspective of Transient Synoptic Features during NAME 2004. *Journal of Climate* 20: 1947-1954.
- DOUGLAS, M.W., R.A. MADDOX, K. HOWARD K. y S. REYES. 1993. The Mexican Monsoon. *Journal of Climate* 6: 1665-1677.
- EASTERLING, D.R., B. HORTON, P.D. JONES, TH.C. PETERSON, TH.R. KARL, D.E. PARKER, M.J. SALINGER, V. RAZUVAYEV, N. PLUMMER, P. JAMASON y CH.K. FOLLAND. 1997. Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe. *Science* 277: 364-367.
- ENFIELD, D.B., A.M. MESTAS-NÚÑEZ, P.J. TRIMBLE. 2001. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its Relation to Rainfall and River in the Continental U.S. *Geophysical Research Letters* 28: 2077-2080.
- ENGLEHART, PH.J. y A.V. DOUGLAS. 2002. Mexico's Summer Rainfall Patterns: an Analysis of Regional Modes and Changes in their Teleconnectivity. *Atmósfera* 15: 147-164.
- ENGLEHART, Ph.J. y A.V. DOUGLAS. 2005. Changing Behavior in the Diurnal Range of Surface Air Tem-

- peratures over Mexico. *Geophysical Research Letters* 32: L01701, doi:10.12029/2004GL021139, d005.
- FARFÁN L.M., y J.A. ZEHNDER, 1994. Moving and Stationary Mesoscale Convective Systems over Northwest Mexico during the Southwest Area Monsoon Project. *Weather and Forecasting* 9: 630-639.
- FELGER, R.S. 1993. Investigación ecológica en Sonora y localidades adyacentes en Sinaloa: una perspectiva. En: E. Contreras Barragán, J.J. Gracida Romo, J.L. Moctezuma Zamarrón, J.C. Montané Martí, R.P. Ramos y C.A. Quijada López, eds., *Noroeste de México. Sonora: Antropología del desierto*. INAH/Universidad de Sonora, 243 p.
- FOSTER, R.B. 1980. Heterogeneity and Disturbance in Tropical Vegetation. En: M. Soulé y B.A. Wilcox, eds., *Conservation Biology. An Evolutionary Ecological Perspective*. Sinauer Associates Pub., Sunderland, Mass., pp. 75-92.
- GARCÍA, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)* 4a. ed. Offset Larios, México.
- GARCÍA, E., 1989. *Apuntes de climatología*. Talleres Larios, México, 155 p.
- GARCÍA, E. 1997a. Carta de climas. Sistema de Köppen, modificado por E. García. Escala 1:1000 000. *Conabio-Estadigrafía*, México.
- GARCÍA, E., 1997b. Isotermas medias anuales (zonas térmicas según el sistema de Köppen modificado por E. García) Escala 1:1000 000. *Conabio-Estadigrafía*, México.
- GARCÍA, E., 1997c. Precipitación total anual. Escala 1:1000 000. *Conabio-Estadigrafía*, México.
- GARCÍA, E. y R.I. TREJO. 1994. La presencia del monzón en el noroeste de México. *Boletín del Instituto de Geografía* 28: 33-64.
- GOCHIS, D.J., A. JIMÉNEZ, CH.J. WATTS, J. GARATUZA-PAYÁN y J. SHUTTLEWORTH. 2004. Analysis of 2002 and 2003 Warm-Season Precipitation from the North American Monsoon Experiment Event Rain Gauge Network. *Monthly weather Review* 132: 2398-2953.
- GREER, I. W. 1996. Glossary of Weather and Climate. American Meteorological Society.
- GOBIERNO DEL ESTADO DE SONORA. 2006 (http://www.sonora.gob.mx/portal_Runsript.asp?p=ASP\pg145.asp) consultada en diciembre de 2006.
- HALES, J.E. 1974. Southwestern United States Summer Monsoon Source. Gulf of Mexico or Pacific Ocean? *Journal of Applied Meteorology* 13: 331-342.
- HIGGINS, R.W., A.V. DOUGLAS, A. HAHMANN, E.H. BERBERY, D. GUTZLER, J. SHUTTLEWORTH, D. STENSRUD, J. AMADOR, R. CARBONE, M. CORTEZ, M. DOUGLAS, R. LOBATO, J. MEITIN, CH. ROPELEWSKI, J. SCHEMM, S. SCHUBERT y CH. ZHANG. 2003. Progress in Pan American Clivar Research: The North American Monsoon System. *Atmósfera* 16: 29-65.
- HOERLING, M.P. y A. KUMAR. 2002. Atmospheric Response Patterns Associated with Tropical Forcing. *Journal of Climate* 15: 2184-2203.
- HOUGHTON, J.T., Y. DING, D.J. GRIGGS, M. NOGUER, P.J. VAN DER LINDEN, X. DAI, K. MASKELL y C.A. JOHNSON. eds. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Nueva York, 881 p.
- IVES, R.L. 1949. Climate of the Sonoran Desert Region. *Annals of the Association of American Geographers* 39: 143-187.
- JÁUREGUI, E. 1970. Distribución de la frecuencia de heladas, lluvias y tormentas eléctricas en México. *Revista de Ingeniería Hidráulica en México* XXIV: 320-340.
- JÁUREGUI, E. 1989. Los ciclones del norte de México y sus efectos sobre la precipitación. *Ingeniería Hidráulica en México* IV: 43-50.
- JÁUREGUI, E. 1995. Rainfall Fluctuations and Tropical Storm Activity in Mexico. *Erkunde* 49: 39-48.
- JÁUREGUI, E., 2003. Climatology of Landfalling Hurricanes and Tropical Storms in Mexico. *Atmósfera* 16: 193-204.
- JONES, W. 1979. The Effect of the 1978 Freeze on Native Plants of Sonora, Mexico. *Desert Plants* 1: 33-36.
- MADDOX, R.A. 1983. Large-Scale Meteorological Conditions Associated with Mid Latitude, Mesoscale Convective Complexes. *Monthly Weather Review* 111: 1475-1493.
- MADEREY-RASCÓN, F. CRUZ-NAVARRO y L. GODÍNEZ-CALDERÓN. 2001. Relación entre los fenómenos acuosos y los elementos térmicos del clima en México. *Agrociencia* 35: 23-40.
- MAGAÑA V.O. y C. CONDE. 2000. Climate and Freshwater Resources in Northern Mexico: Sonora, A Case Study. *Environmental Monitoring and Assessment* 61: 167-185.
- MALLERY, T.D. 1936a. Rainfall Records for the Sonoran Desert. *Ecology* 17: 110-121.

- MALLERY, T.D. 1936b. Rainfall Records for the Sonoran Desert. II Summary of Readings to December, 1935. *Ecology* 17: 212-215.
- MANABE S. y A.J. BROCCOLI. 1990. Mountains and Arid Climates of Middle Latitudes. *Science* 247: 192-195.
- MANTUA, N.J., S.R. HARE, Y. ZHANG, J.M. WALLACE y R.C. FRANCIS. 1997. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 1069-1079.
- MCCABE, G.J., M.A. PALECKI y J.L. BETANCOURT. 2004. Pacific and Atlantic Ocean Influences on Multidecadal Drought Frequency in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 4136-4141.
- MCCABE, G.J. y M.D. DETTINGER. 1999. Decadal Variations in the Strength of ENSO Teleconnections with Precipitation in the Western United States. *International Journal of Climatology* 19: 1399-1410.
- MEDINA, E. 1995. Diversity of Life Forms of Higher Plants in Neotropical Dry Forests. En: S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina, eds. *Seasonally Dry Tropical Forest*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 221-242.
- MO K.C., E.H. BERBERY, 2004. Low-Level Jets and the Summer Precipitation Regimes over North America. *Journal of Geophysical Research* 109, D06117, doi: 10.1029/2003JD004106.
- MOLINA-FREANER, F.E., R. CASTILLO G., C. TINOCO-OJANGUREN y A.E. CASTELLANOS. 2004. Vine Species Diversity across Environmental Gradients in Northwestern Mexico. *Biodiversity and Conservation* 13: 1853-1874.
- MOONEY, H.A., J. LUBCHENKO, R. DIRZO y O.E. SALA, coords. 1995. Section 6. Biodiversity and Ecosystem Function. Basic Principles. En: V.H. Heywood y R.T. Watson, eds. *Global Biodiversity Assessment*. PNUMA-Cambridge University Press, Cambridge, pp. 327-452.
- MOSIÑO, A.P. 1958. Una clasificación de las configuraciones de flujo aéreo sobre la República Mexicana. *Revista de Ingeniería Hidráulica en México* XII: 3-8.
- MOSIÑO, A.P. y E. GARCÍA, 1973. The climate of Mexico. En: R.A. Bysan y F.K. eds. *Hare Climates of North America, World Survey of Climatology* 11, cap. 4. H.E. Landsberg, ed. en jefe. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands, pp. 345-404.
- MOSIÑO A.P. y E. GARCÍA. 1981. The Variability of Rainfall in Mexico and its Determination by Means of the Gamma Distribution. *Geografiska Annaler* 63: 1-10
- NEWMAN, M., G.P. COMPO y M.A. ALEXANDER. 2003. ENSO-Forced Variability of the Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Climate* 16: 3853-3857.
- NOY-MEIR, I. 1973. Desert Ecosystems: Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4: 25-51.
- PAVIA E.G., F. GRAEF y J. REYES. 2006. Notes and Correspondence. PDO-ENSO Effects in the Climate of Mexico. *Journal of Climate* 19: 6433-6438.
- RASMUSSEN, E.M. 1966. *Atmospheric Water Vapor Transport and the Hydrology of North America*. Report A-1, Planetary Circulations Project. Massachusetts Institute of Technology, 170 p.
- RASMUSSEN, E.M. 1967. Atmospheric Water Vapor Transport and the Water Balance of North America. Part I. Characteristics of the Water Vapor Flux Filed. *Monthly Weather Review* 95: 403-426.
- RASMUSSEN, E.M. 1968. Atmospheric Water Vapor Transport and the Water Balance of North America. Part II. Large-Scale Water Balance Investigations. *Monthly Weather Review* 96: 720-734.
- RASMUSSEN E.M., J.M. WALLACE. 1983. Meteorological Aspects of El Niño/Southern Oscillation. *Science* 222: 1195-1202.
- REYES, S. y A. MEJÍA-TREJO. 1991. Tropical Perturbations in the Eastern Pacific and the Precipitation Field over North-Western Mexico in Relation to the ENSO Phenomenon. *International Journal of Climatology* 11: 515-528.
- RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa, México.
- SALINAS-ZAVALA, C.A., A.V. Douglas y H.F. Díaz. 2002. Interannual Variability of NDVI in Northwest Mexico. Associated Climatic Mechanisms and Ecological Implications. *Remote Sensing of Environment* 82: 417-430.
- SCHMIDT JR., R.H. 1989. The Arid Zones of Mexico: Climatic Extremes and Conceptualization of the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environment* 16: 241-256.
- SCHMITZ, J.T., y S. MULLEN. 1996. Water Vapor Transport Associated with the Summertime North American Monsoon as Depicted by ECMWF Analyses. *Journal of Climate* 9: 1621-1634.
- SCHNEIDER, N. y B.D. CORNUELLE. 2005. The Forcing of the Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Climate* 18: 4355-4373.

- SCHWINNING, S., O.E. SALA, M.E. LOIK y J.R. EHLE-RINGER. 2004. Thresholds, Memory, and Seasonality: Understanding Pulse Dynamics in Arid/Semi-Arid Ecosystems. *Oecologia* 141: 191-193.
- SHREVE, F. 1911. The Influence of Low Temperatures on the Distribution of the Giant Cactus. *Plant World* 14: 136-146.
- SHREVE, F. 1914. The Role of Winter Temperatures in Determining the Distribution of Plants. *American Journal of Botany* 1: 194-202.
- SHREVE, F. 1934. Vegetation of the Northwestern Coast of Mexico. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 61: 373-380.
- SHREVE, F. 1951. Vegetation of the Sonoran Desert. En: F. Shreve e I. L. Wiggins. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Parte I. Carnegie Institute Washington, p. 591.
- STENSRUD, D.J., R.L. GALL, S.L. MULLEN, K.W. HOWARD. 1995. Model Climatology of the Mexican Monsoon. *Journal of Climate* 8: 1775-1794.
- SUTTON, R.T. y D.L.R. HODSON. 2005. Atlantic Ocean Forcing of North American and European Summer Climate. *Science* 309: 115-118.
- TRENBERTH, K.E. 1997. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 2771-2777.
- TURNAGE, W.V. y A.L. HINCKLEY. 1938. Freezing Weather in Relation to Plant Distributions in the Sonoran Desert. *Ecological Monographs* 8: 529-550.
- TURNER, R.M., R.H. WEBB y J.R. BOWERS. 2003. *The Changing Mile Revisited*. University of Arizona Press, Tucson, Az.
- VERA C., W. HIGGINS, J. AMADOR, T. AMBRIZZI, R. GARRAUD, D. GOCHIS, D. GUTZLER, D. LETTENMAIER, J. MARENGO, C.R. MECHOSO, J. NOGUES-PAEGUEL, P.L. SILVA DIAZ, y C. ZHANG. 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *Journal of Climate*, special section, 19: 4977-5000.
- WEBB, R.H. 1996. *Grand Canyon: A Century of Change*. University of Arizona Press, Tucson, Az.
- WEISS, J.L. y J.T. OVERPECK. 2005. Is the Sonoran Desert Losing Its Cool? *Global Change Biology* 11: 2065-2077.

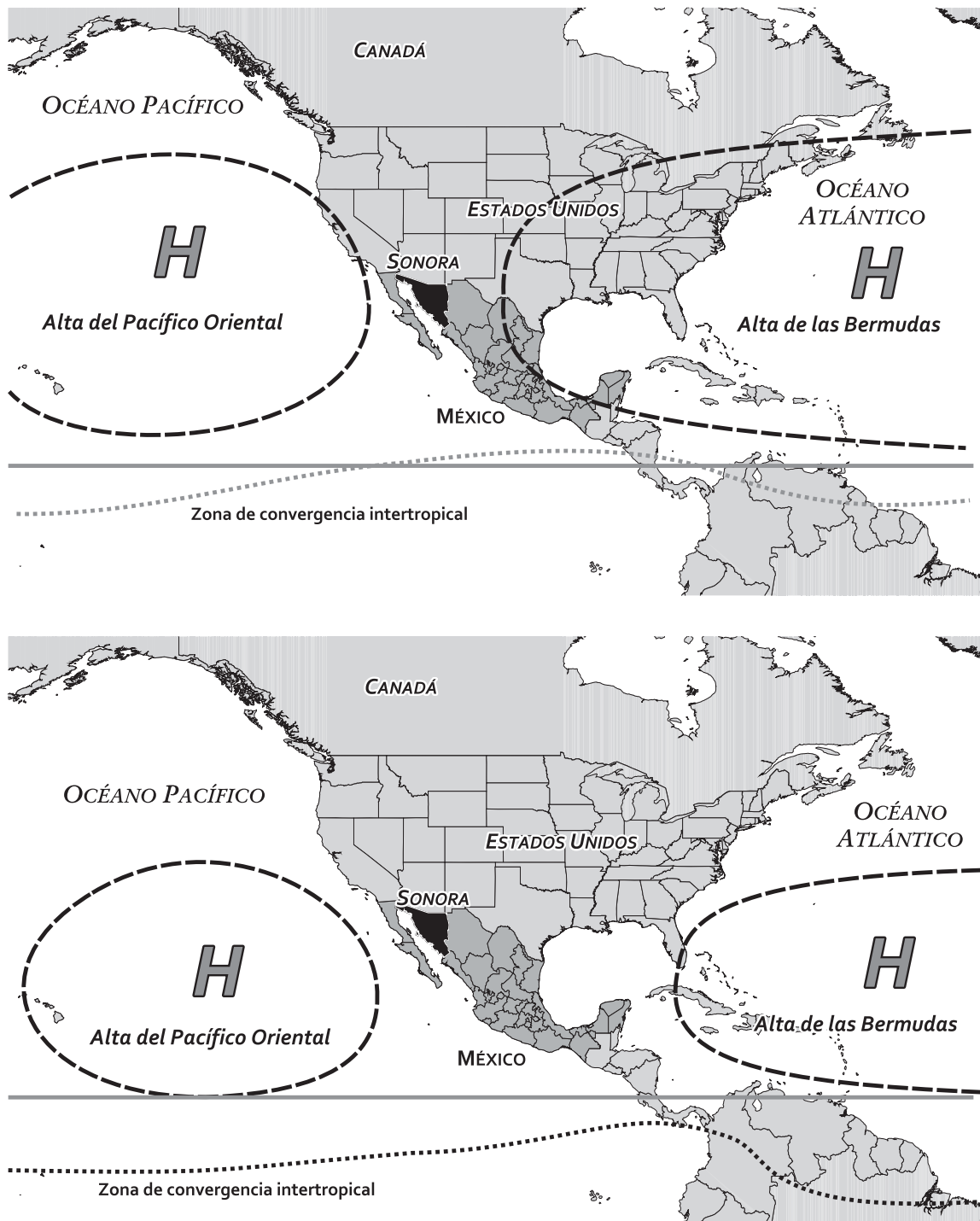


Figura 1. Posición media de las características de circulación atmosférica de gran escala en las proximidades de Sonora durante verano (imagen superior) e invierno (imagen inferior).

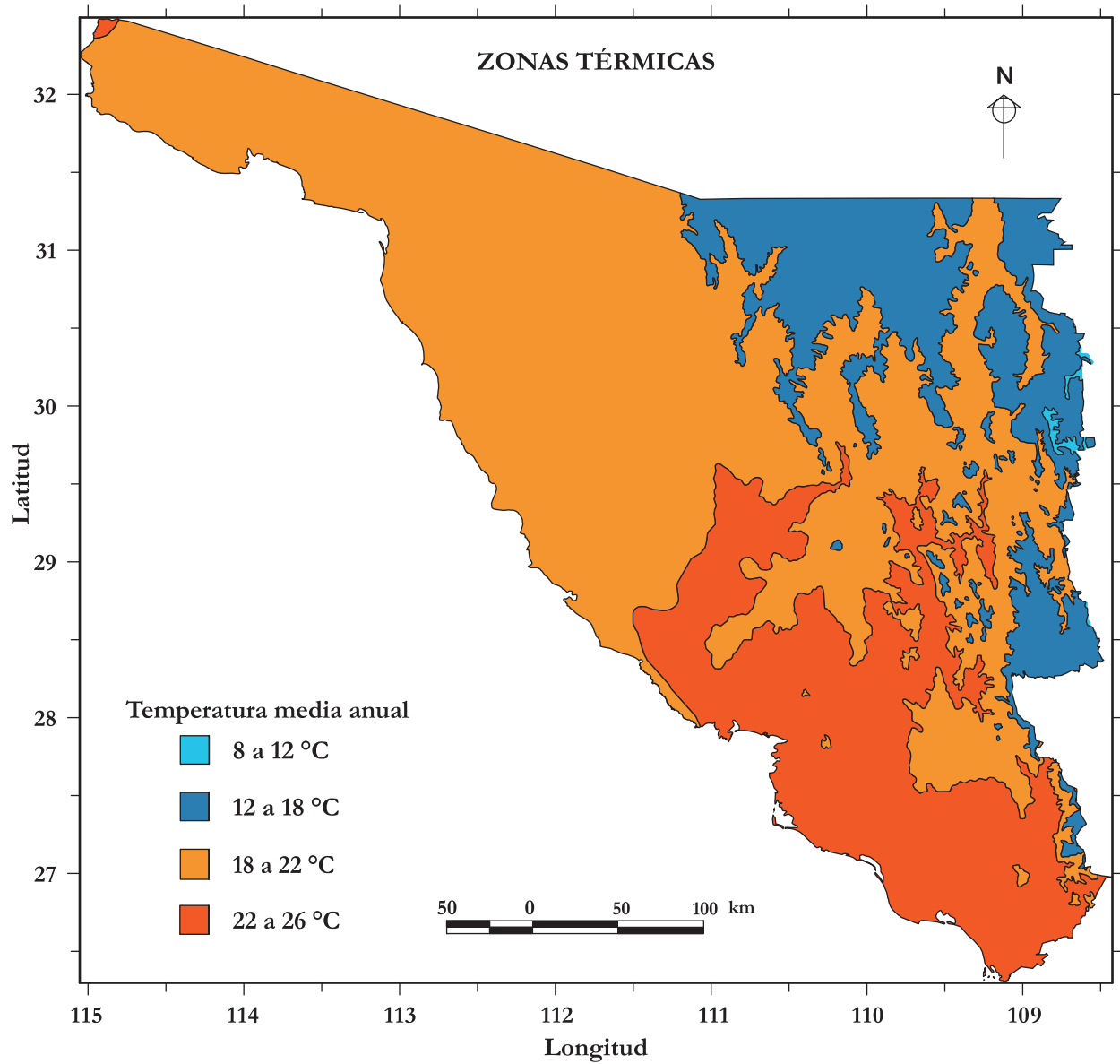


Figura 2. Mapa de zonas térmicas del estado de Sonora. Modificado de García (1997b).

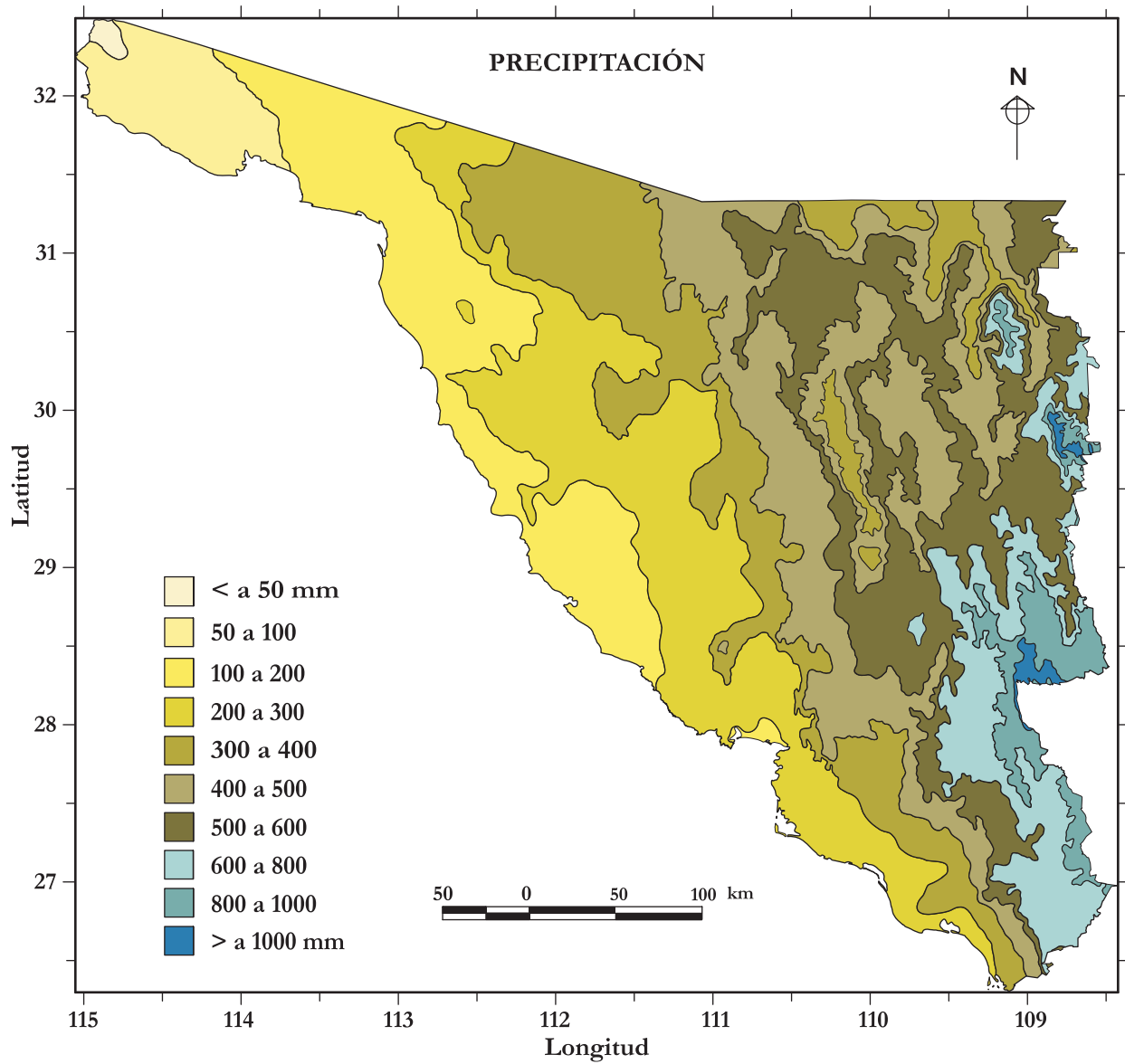


Figura 3. Distribución de la precipitación anual en el estado de Sonora. Modificado de García (1997c).

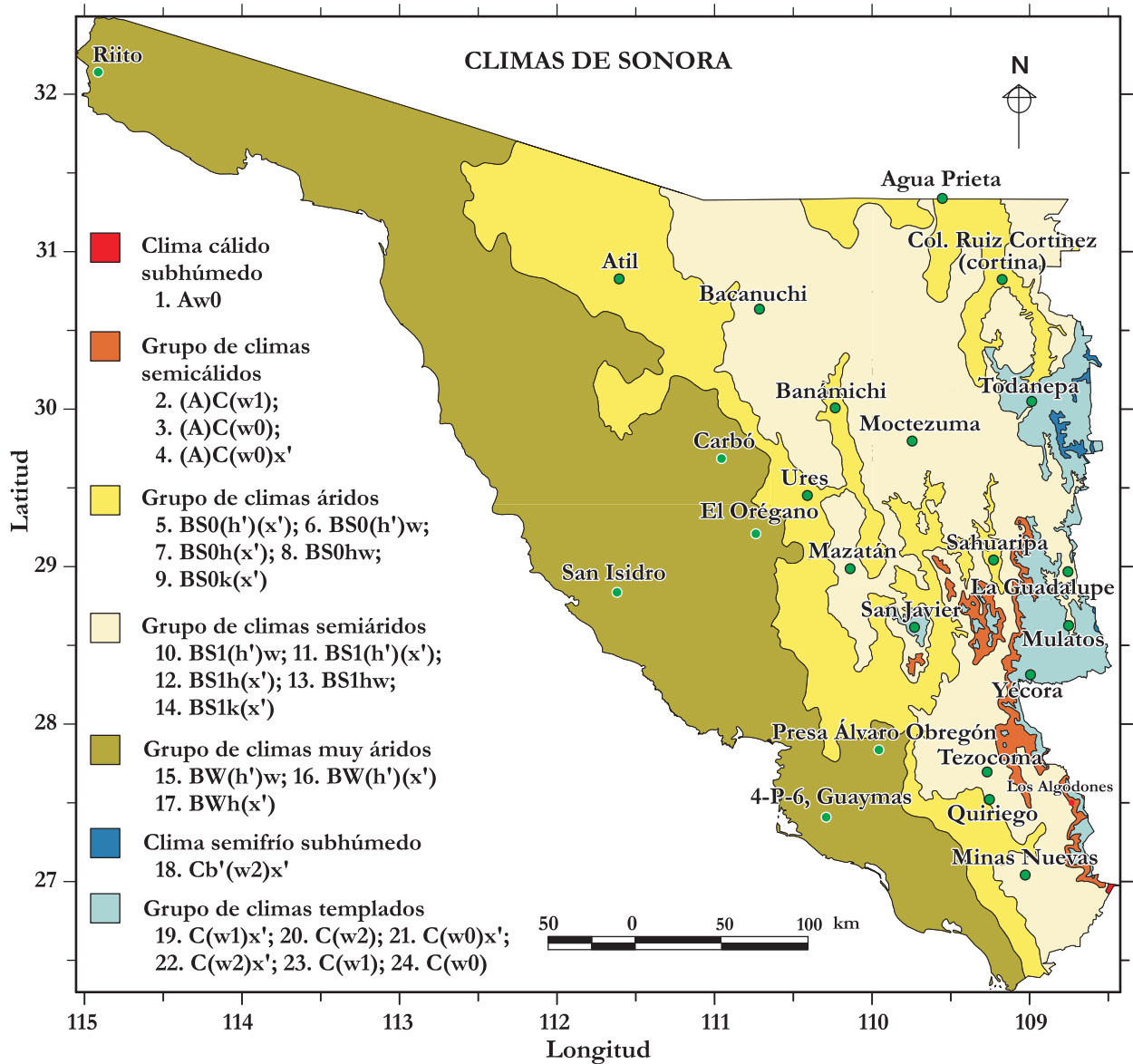


Figura 4. Climas en el estado de Sonora según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1997a).

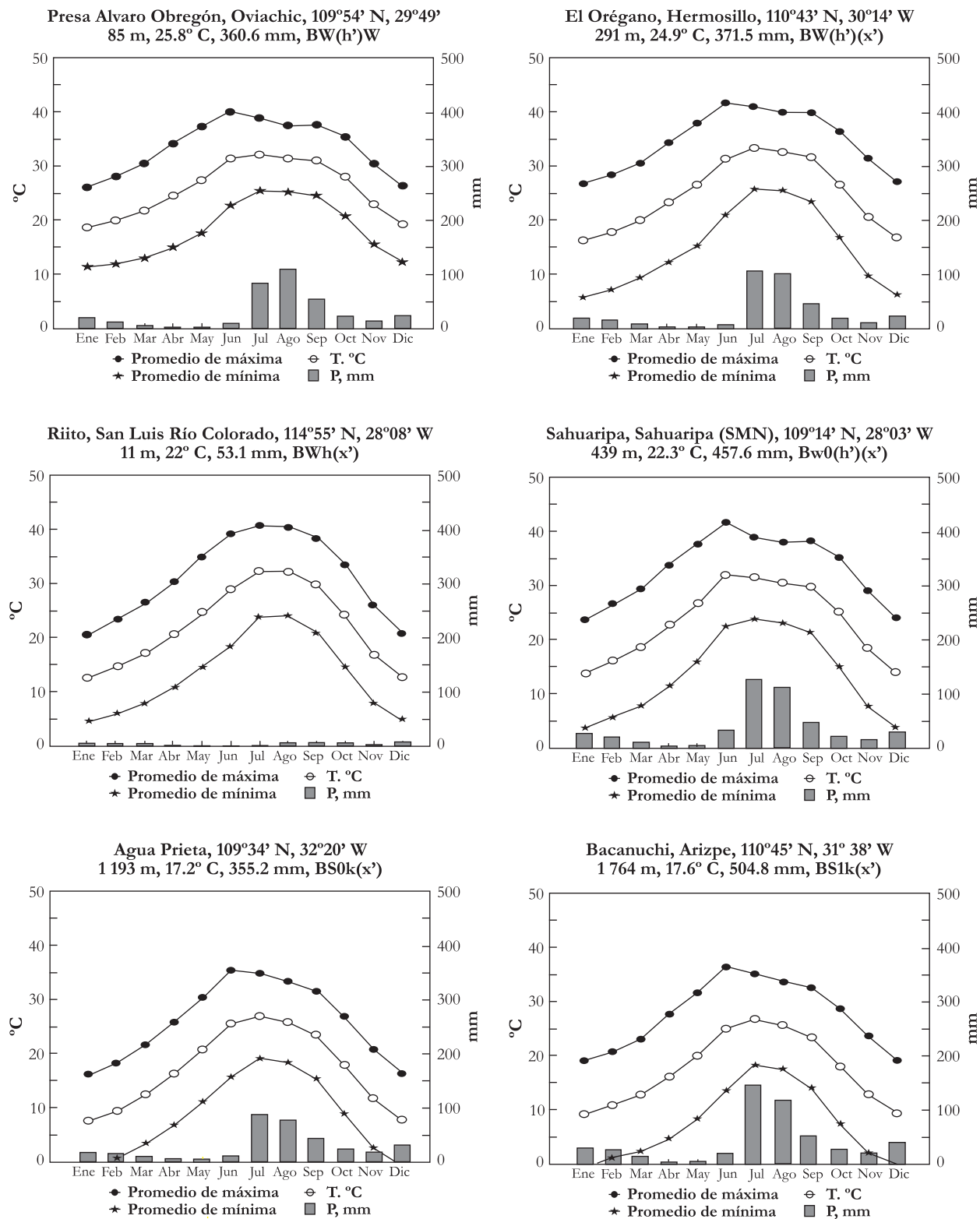


Figura 5a. Gráficas de estaciones climatológicas en las que se muestran localidad, coordenadas geográficas, altitud en metros, temperatura media anual en grados centígrados, precipitación total anual en milímetros, clasificación climática de acuerdo con Köppen, modificado por García (1988), y marcha anual de las temperaturas máxima, media y mínima en grados centígrados, representando a los climas muy áridos, áridos y semiáridos.

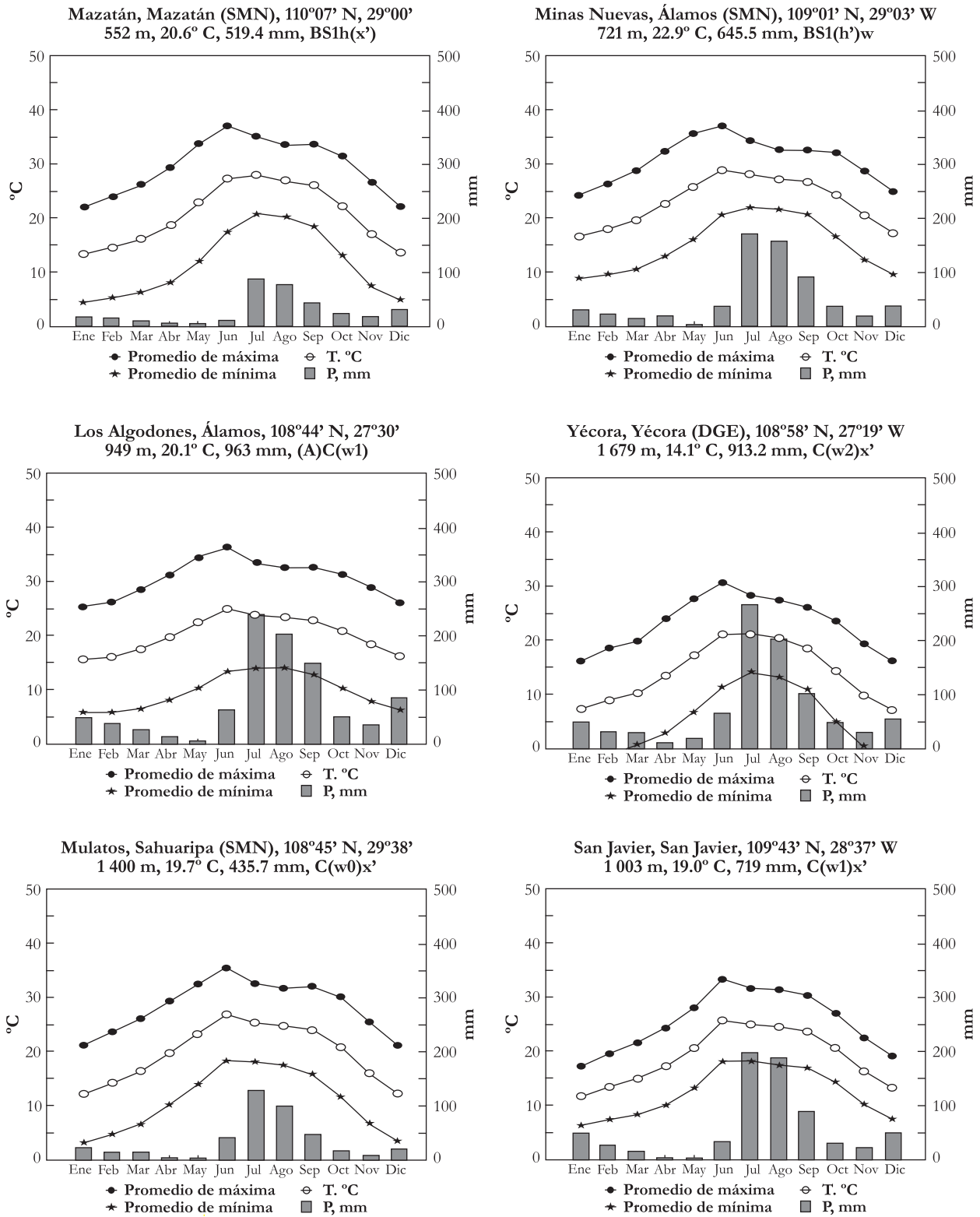


Figura 5b. Gráficas de estaciones climatológicas en las que se muestran localidad, coordenadas geográficas, altitud en metros, temperatura media anual en grados centígrados, precipitación total anual en milímetros, clasificación climática de acuerdo con Köppen, modificado por García (1988) y marcha anual de las temperaturas máxima, media y mínima en grados centígrados, representando a los climas semiárido semicálido, semiárido cálido, semicálido subhúmedo y templados subhúmedos.

DIVERSIDAD GENÉTICA DE LA BIOTA

FRANCISCO E. MOLINA-FREANER,¹ THERESE A. MARKOW,² EDWARD J. PFEILER,³ OCTAVIO R. ROJAS-SOTO,⁴
ALEJANDRO VARELA-ROMERO,⁵ ADRIÁN QUIJADA-MASCAREÑAS,⁶ MARTÍN ESQUEDA³
Y GLORIA YÉPİZ-PLASCENCIA³

RESUMEN. En este capítulo se hace una revisión de los estudios sobre genética de poblaciones y filogeografía de la biota del estado de Sonora y se presenta un resumen del conocimiento actual. Se recopilan trabajos sobre aproximadamente cien especies que incluyen organismos patógenos, plantas, invertebrados, peces dulceacuáticos, anfibios, reptiles, aves y mamíferos y se describen algunos de los patrones generales que se han detectado en la región. Para el caso de plantas, varios estudios han detectado que la diversidad genética disminuye con la latitud. Para el caso de varias especies de anfibios, reptiles, mamíferos y aves, la estructura filogeográfica muestra divisiones creadas por el Golfo de California y la Sierra Madre Occidental.

ABSTRACT. In this chapter, we review studies on the population genetics and phylogeography of the biota from the state of Sonora and provide a summary about our current knowledge. Studies about one hundred species that include pathogenic microorganisms, plants, invertebrates, freshwater fishes, amphibian, reptiles, birds and mammals are compiled and some of the general patterns that have emerged in the region are summarized. For plants, several studies have detected that genetic diversity declines with latitude. For several amphibian, reptilian, mammalian and bird species, the phylogeographic structure exhibit clear divisions created by the Gulf of California and the Sierra Madre Occidental.

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

² University of California, San Diego.

³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

⁴ Instituto de Ecología.

⁵ Universidad de Sonora. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

⁶ University of Arizona.

INTRODUCCIÓN

En este capítulo elaboramos una síntesis del conocimiento sobre la diversidad genética de la biota del estado de Sonora. Hemos dividido el capítulo en secciones correspondientes a los diferentes grupos de organismos que han sido estudiados en la entidad. Sin embargo, antes de presentar los datos sobre los patrones que se han detectado para plantas, invertebrados y vertebrados, queremos tratar dos aspectos como preámbulo a este capítulo. El primero es entender por qué el estudio de la diversidad genética es relevante para la comprensión de la diversidad biológica. El segundo aspecto es una breve introducción a la genética de poblaciones y la filogeografía, ya que estas áreas de la biología evolutiva son las que intentan entender y explicar los patrones de diversidad genética detectados en la naturaleza.

La diversidad biológica o biodiversidad comúnmente se define como la variedad y variabilidad de los seres vivos y de los complejos ecológicos donde viven (Noss, 1990). Sin embargo, los intentos por medirla o cuantificarla a menudo se enfrentan con problemas debido a que es fundamentalmente un concepto multidimensional que no puede reducirse a un solo número (Purvis y Hector, 2000). La biodiversidad incluye al menos tres niveles de organización biológica. Estos niveles son: 1) la diversidad o variabilidad genética de las poblaciones a nivel intraespecífico; 2) la diversidad de especies, que incluye tanto la cantidad de especies como sus frecuencias relativas y, 3) la diversidad ecosistémica, que se refiere a la variabilidad ecológica de los

complejos que forman los organismos con su ambiente. La diversidad de especies ha sido el componente de la diversidad biológica que más atención ha recibido debido a la importancia de las especies como unidad biológica y a la relativa facilidad con la que puede medirse (Gaston, 2000). Sin embargo, hay muchos aspectos de los patrones globales de la biodiversidad para los cuales se desconocen los mecanismos causales y que demandan explicaciones del nivel genético y ecológico (Gaston, 2000).

Uno de los problemas con las definiciones de biodiversidad es que no hacen mención explícita de los mecanismos que generan y mantienen la diversidad, ni existe un marco teórico que integre los diferentes niveles de organización de la diversidad biológica (Noss, 1990; Vellend, 2003 y 2005). Por ejemplo, la diversidad genética ha sido dominio casi exclusivo de la genética de poblaciones y la diversidad de especies ha sido un problema central de la ecología de comunidades. Sin embargo, está claro que ambos campos comparten el mismo interés por explicar los números y las frecuencias relativas de las variantes biológicas en la naturaleza. En el caso de la genética de poblaciones estas variantes son genotipos o alelos y, en el caso de la ecología de comunidades, se denominan especies (Vellend, 2005). Las aproximaciones teóricas también tienen una similitud sorprendente. Por ejemplo, el modelo de islas de Sewal Wright (1940) propone que el balance entre el flujo y la deriva génica determina la diversidad genética, mientras que el modelo de biogeografía de islas de MacArthur y Wilson (1967) propone que el balance entre la colonización y extinción determina la diversidad de especies (Vellend, 2003). Los niveles de diversidad en los diferentes componentes de la diversidad biológica (genética, ecosistémica y de especies) son afectados por una multitud de procesos que actúan en diferentes escalas espaciales y temporales. Sin embargo, no existe un marco teórico que prediga bajo qué condiciones se espera que exista integración entre los diferentes niveles de la diversidad biológica. Por ejemplo, para el caso de la biota de islas, se han detectado correlaciones significati-

vas entre la diversidad genética de las especies constituyentes y la diversidad de especies (Vellend, 2003). Los modelos que pretenden ligar los mecanismos que operan entre estos niveles de la diversidad biológica se están empezando a construir (Vellend, 2005) y se espera que aporten explicaciones sobre las causas que generan las correlaciones que se han observado entre niveles.

GENÉTICA DE POBLACIONES Y FILOGEOGRAFÍA

A pesar de estas limitaciones sobre la integración entre niveles, es importante señalar que la diversidad genética es uno de los niveles más básicos de la diversidad biológica. Es en este nivel de organización (genes) donde se genera la variación que permite a las poblaciones evolucionar y adaptarse a su ambiente. Existe una larga tradición científica que ha estudiado los patrones de diversidad genética y los mecanismos que la generan y mantienen. Estos problemas son del dominio de la genética de poblaciones, la cual constituye la rama de la biología evolutiva que estudia los procesos microevolutivos (Futuyma, 1998). La genética de poblaciones usa los modelos teóricos en conjunto con los estudios empíricos y experimentales para entender los mecanismos que determinan la diversidad genética y los cambios que ocurren a nivel genético dentro y entre poblaciones, incluyendo aquellos que llevan a la adaptación y la especiación. La genética de poblaciones pretende abordar el estudio de las causas de la evolución y por ello tiene una posición importante dentro de la biología evolutiva (Futuyma, 1998).

Las causas de la evolución son multifactoriales y, por lo tanto, es necesario adoptar una serie de enfoques (teóricos, empíricos y experimentales) para entenderlas. Los modelos teóricos juegan un papel muy importante, ya que sirven para identificar los parámetros más importantes que afectan el sistema de estudio. También sirven como guía en la colecta, organización e interpretación de observaciones y experimentos, aportan predicciones cuantitativas importantes sobre el comportamien-

to del sistema y sugieren observaciones y experimentos críticos. La genética de poblaciones parte de que las mutaciones y la recombinación son las fuentes originales de la variación genética y define a la evolución como el cambio en las frecuencias alélicas en las poblaciones a través del tiempo. Por lo tanto, las fuerzas evolutivas se consideran como los procesos que causan cambios en las frecuencias alélicas. Las fuerzas evolutivas son la mutación, el flujo génico, la deriva génica y la selección natural. Estas fuerzas evolutivas, en conjunto con otros factores tales como el sistema reproductivo, afectan los niveles de variación y la estructura genética de las poblaciones. La genética de poblaciones posee un robusto cuerpo de modelos teóricos que explora el efecto de cada una de estas fuerzas evolutivas actuando independientemente o en combinación sobre un gen o conjunto de genes. Estos modelos constituyen la base conceptual para entender el efecto de las fuerzas evolutivas en los niveles y los patrones de variación genética dentro y entre poblaciones (Hedrick, 2000).

La genética de poblaciones tiene como una de sus tareas más importantes el documentar qué tanta diversidad genética existe en las poblaciones naturales y explicar su origen, mantenimiento e importancia evolutiva (Hart y Clark, 1989). Dado que los modelos usan al gen y sus variantes (alelos) como la unidad básica de análisis, el enfoque empírico de la genética de poblaciones ha consistido en la recopilación de datos sobre los patrones de variación genética (genes) en poblaciones y su asociación con factores del medio ambiente. Los primeros marcadores genéticos que se emplearon en estos estudios fueron los polimorfismos morfológicos, los tipos sanguíneos, las inversiones cromosómicas y las aloenzimas y, a partir de los años ochenta, se observó un enorme desarrollo de los marcadores basados en ADN y en las secuencias de nucleótidos. La electroforesis de proteínas permitió detectar sustituciones de aminoácidos en extractos provenientes de diferentes individuos e inferir el genotipo para genes particulares (Lewontin, 1991), mientras que las aloenzimas (variantes alélicas de las enzimas) permitieron por primera

vez evaluar los niveles de variación de prácticamente cualquier organismo y conocer la distribución de frecuencias de los variantes electroforéticos (Lewontin, 1991). Esta técnica tuvo un gran impacto en los estudios empíricos, toda vez que era fácil de aplicar a cualquier organismo e hizo posible estimar los niveles de polimorfismo, la heterocigosidad y los niveles de diferenciación de plantas y animales. Sin embargo, la electroforesis de proteínas no detecta toda la variación genética, en virtud de que muchas sustituciones de nucleótidos no producen cambios en las secuencias de aminoácidos.

La revolución de la biología molecular introdujo nuevas técnicas y marcadores a la genética de poblaciones, como los marcadores con base en ADN que evalúan la variación que ocurre a nivel de las secuencias de nucleótidos y que, en consecuencia, se consideran más precisos que las aloenzimas. Asimismo, el descubrimiento de las enzimas de restricción introdujo a los RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) y la reacción en cadena de la polimerasa permitió el desarrollo de los RAPD (Randomly Amplified Polymorphic DNA), los AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), los ISSR (Inter Simple Sequence Repeat) y los microsátélites como marcadores (Schlötterer, 2004). Finalmente, las técnicas para secuenciar directamente el ADN permitieron obtener información precisa y completa sobre la variación en regiones específicas del genoma de prácticamente cualquier organismo, de tal forma que, aunque inicialmente la obtención de secuencias era un proceso laborioso y caro, hoy en día los avances en la tecnología de secuenciación permiten el análisis de secuencias de muchos fragmentos de ADN de un número razonable de individuos (Schlötterer, 2004).

Por su parte, la filogeografía es el campo de la biogeografía que estudia los principios y procesos que determinan la distribución geográfica de linajes genealógicos a nivel intraespecífico. Este campo intenta formar un puente entre la genética de poblaciones y la sistemática, ya que usa un enfoque filogenético a un nivel intraespecífico (Avice *et al.*, 1987). Su gestación se produjo a partir de la introducción del análisis de ADN mitocondrial a la

genética de poblaciones y al desarrollo de modelos sobre procesos genealógicos conocidos como coalescencia (Avise, 1998).

El análisis filogeográfico estudia la distribución espacial dentro y entre poblaciones de variantes o alelos de los que se conocen o deducen sus relaciones filogenéticas. Aunque en su mayoría los estudios empíricos emplean ADN mitocondrial, hoy en día los que exploran aspectos filogenéticos de la distribución espacial de cualquier carácter genético califican como filogeográficos. Estos estudios enfatizan la influencia de factores históricos (dispersión o vicarianza) en la distribución geográfica de linajes.

Los diversos marcadores genéticos que se han empleado en genética de poblaciones y filogeografía han permitido recopilar una enorme base empírica sobre los patrones generales de variación en prácticamente todos los grupos de organismos. Debido a la relevancia que tiene la diversidad genética en la evolución, en los procesos adaptativos, en la diferenciación y formación de ecotipos regionales y en la especiación, creemos que se justifica incluir un capítulo sobre este nivel en un libro sobre la diversidad biológica de una región como el estado de Sonora.

PATRONES DE DIVERSIDAD GENÉTICA Y FILOGEOGRÁFICA EN LA BIOTA DE SONORA

En esta sección recopilamos los estudios que han abordado diversos aspectos de la genética poblacional y la filogeografía de los diferentes organismos del estado de Sonora. Presentamos una tabla que resume los trabajos por grupo taxonómico y posteriormente discutimos varios estudios de caso que muestran los patrones más importantes que se han detectado tanto en estudios genético-poblacionales como en estudios filogeográficos. Terminamos cada sección con algunas ideas sobre problemas importantes que requieren de estudio para cada grupo en el estado. El criterio para incluir trabajos en este resumen es que el estudio haya analizado al menos una población o muestra del estado de Sonora.

Organismos patógenos

Históricamente la biología de poblaciones ha visto a los organismos patógenos como agentes selectivos de diversos grupos de vertebrados y plantas y no como sujetos de estudio *per se* (Levin *et al.*, 1999). Sin embargo, la importancia de problemas como la resistencia a antibióticos o fungicidas ha cambiado esta percepción y actualmente el estudio de la genética de poblaciones de los organismos infecciosos ofrece oportunidades únicas de entender a la evolución «en acción» (Maynard-Smith *et al.*, 2000). El enfoque genético poblacional en el estudio de virus (García-Arenal *et al.*, 2001; Moya *et al.*, 2004), bacterias y hongos (Spratt y Maiden, 1999; Pérez-Lozada *et al.*, 2006) y hongos (McDonald y Linde, 2002) causantes de enfermedades de vertebrados y plantas ha aportado conocimiento fundamental sobre su historia epidemiológica y para el diseño de medidas efectivas de control. En el caso del estado de Sonora los estudios sobre la diversidad genética de organismos patógenos son recientes e incluyen a cinco «especies» de virus, dos bacterias y dos hongos (tabla 1).

Los estudios realizados sobre la diversidad y estructura genética de virus que inducen enfermedades han producido evidencia sobre su origen y dispersión en las poblaciones de hospederos y sobre las fuerzas que promueven su emergencia (Moya *et al.*, 2004). Por ejemplo, se sabe que el virus de la fiebre del Nilo, que afecta a seres humanos, llegó a Norteamérica a través de Nueva York en 1999 y que posteriormente se ha dispersado por Estados Unidos y México usando mosquitos como vectores (Elizondo-Quiroga *et al.*, 2005). Uno de los primeros casos de infección por fiebre del Nilo en México se detectó en el estado de Sonora (Elizondo-Quiroga *et al.*, 2005) y, por lo tanto, resulta relevante conocer su origen y dispersión. Los datos de la secuencia completa del genoma de este virus, obtenidos de muestras aisladas de diversas aves de México, muestran que al menos ha habido dos eventos de introducción a México (Deardoff *et al.*, 2006). Las cepas detectadas en Sonora y Baja California parecen provenir del suroeste de Esta-

Tabla 1. Estudios sobre la diversidad genética de organismos patógenos del estado de Sonora

Especie	Marcador molecular	Referencia
Virus estomatitis vesicular del ganado	Secuencias de nucleótidos (Proteína P y N)	Nichol, 1987; Bilsel <i>et al.</i> , 1990
Virus de la rabia	Secuencias de nucleótidos (Nucleoproteína), antígenos	De Mattos <i>et al.</i> , 1999; Velasco-Villa <i>et al.</i> , 2002
Geminivirus de cultivos	Secuencias de nucleótidos (AV1)	Brown, 1998; Brown <i>et al.</i> , 1999
Virus del síndrome reproductivo y respiratorio porcino	Secuencias de nucleótidos (ORF5)	Macías <i>et al.</i> , 2006
Virus de la fiebre del Nilo	Secuencias de nucleótidos (pr-ME) y de todo el genoma	Elizondo-Quiroga <i>et al.</i> , 2005; Dearnold <i>et al.</i> , 2006
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Patrones de amplificación del gen <i>cry</i>	Bravo <i>et al.</i> , 1998
<i>Vibrio cholerae</i>	Aloenzimas	Beltrán <i>et al.</i> , 1999
<i>Puccinia coronata</i>	Virulencia	Leonard, K.J. <i>et al.</i> , 2005
<i>Rhizoctonia solani</i>	AFLP	Meza-Moller, 2006

dos Unidos, mientras que las cepas del sureste de México al parecer provienen de la costa este de Estados Unidos (Dearnold *et al.*, 2006).

Dependiendo de la importancia de la recombinación, la estructura genética de las bacterias patógenas muestra todo un espectro de variación que va desde poblaciones compuestas por clones estables que sólo cambian por mutación, a una población «panmictica» donde la recombinación es tan frecuente que no permite la permanencia de clones estables (Spratt y Maiden, 1999). En la mayoría de las especies la estructura genética es intermedia, es decir, la recombinación es importante pero no lo suficiente para prevenir la emergencia de linajes clonales (Spratt y Maiden, 1999). Por ejemplo, algunas cepas (O1 y O139) de la bacteria *Vibrio cholerae* que habitan en ambientes acuáticos son causantes de una enfermedad gastrointestinal en humanos conocida como cólera. Beltrán *et al.* (1999) estudiaron, con base en aloenzimas, 397 muestras de México (incluyendo varias de Sonora) y otras regiones del mundo. En algunas muestras se encontró una asociación aleatoria de alelos en diferentes loci, lo que indica que la recombinación es relativamente frecuente (Beltrán *et al.* 1999). Sin embargo, en otras muestras se detectaron linajes clonales que persisten por largos períodos y que tuvieron una distribución muy amplia. Por ejemplo, el clon ET 196 fue detectado en humanos infecta-

dos en la India entre 1968 y 1974 y también se encontró en agua de pozo en Campeche en 1992 y en un pez colectado en Sonora en 1993 (Beltrán *et al.*, 1999). La evidencia obtenida con esta bacteria indica que estos clones pueden persistir por al menos 24 años y tener una distribución intercontinental.

El conocimiento sobre la estructura genética de hongos fitopatógenos puede aportar información útil para el manejo de enfermedades y la prevención de epidemias. En el estado de Sonora los hongos pueden convertirse en verdaderas epidemias para la agricultura cuando se siembran grandes extensiones con pocas variedades, ya que existe una alta humedad asociada a huracanes y una alta diversidad genética de patógenos (Dubin y Torres, 1981). *Rhizoctonia solani* es un fitopatógeno de distribución cosmopolita, presente en la mayoría de los suelos agrícolas, que ataca una amplia variedad de cultivos. Meza-Moller (2006) analizó la variabilidad genética de 41 aislados de *R. solani* obtenidos de la rizósfera de *Vitis vinifera* var. Perlette de un campo agrícola de Sonora mediante el uso de AFLP. De los 41 aislados se identificaron 36 patrones de AFLP y cinco clones. Estos resultados indican que este hongo mantiene niveles moderados de diversidad genética en la escala espacial de un campo agrícola.

Nuestro conocimiento sobre los patrones de diversidad genética de la gran mayoría de los orga-

nismos patógenos del estado de Sonora y de México en general es aún muy pobre. Es evidente que requerimos de estudios sobre la diversidad genética de los organismos patógenos que afectan la salud humana y las actividades agrícolas de la entidad. Por ejemplo, nuestro conocimiento sobre la diversidad de las cepas del virus responsable de la fiebre del dengue es pobre y su estudio puede aportar herramientas útiles para el control de esta enfermedad. Lo mismo puede decirse sobre la mayoría de los patógenos que afectan a la agricultura y la ganadería de la entidad.

Plantas

Se estima que existen alrededor de 3 483 especies de plantas vasculares en Sonora (Van Devender *et al.*, en este vol.). Los primeros trabajos que estudiaron la diversidad genética de plantas del estado se realizaron durante la década de los años setenta y emplearon aloenzimas. Hasta la fecha, estos es-

tudios han incluido sólo 19 taxones (tabla 2), la gran mayoría especies perennes pertenecientes a dos familias (Cactaceae y Agavaceae), y es evidente que nuestro conocimiento es todavía muy limitado.

El estudio de la diversidad genética de cactus columnares de la región ha permitido elucidar el papel de diferentes tipos de polinizadores y dispersores en su estructura genética. Se espera que los polinizadores y dispersores de gran movilidad sean capaces de mover el polen y las semillas a grandes distancias y, por lo tanto, generen menores niveles de diferenciación que aquellas especies polinizadas y dispersadas por agentes bióticos de menor capacidad de movimiento. Los estudios sobre los patrones de diversidad y estructura genética de cactus columnares de la región parecen apoyar esta hipótesis (Hamrick *et al.*, 2002). Por ejemplo, los valores de F_{st} para las especies de cactus columnares polinizados por murciélagos generalmente son menores de 0.1 (Hamrick *et al.*, 2002), mientras que los valores para aquellas especies polinizadas

Tabla 2. Estudios sobre la diversidad y estructura genética de plantas de Sonora

Familia	Especie	Marcador molecular	Referencia
Fouquieriaceae	<i>Fouquieria columnaris</i>	Aloenzimas AFLP	Hall, 1973; Gutiérrez-Ruacho, 2002
Scrophulariaceae	<i>Mabrya geniculata</i>	Aloenzimas	Elisens y Crawford, 1988
Solanaceae	<i>Capsicum annum</i>	Aloenzimas RAPD	Loaiza-Figueroa <i>et al.</i> , 1989; Votava <i>et al.</i> , 2002
Burseraceae	<i>Bursera microphylla</i>	Aloenzimas	Hernández, 1999
Burseraceae	<i>Bursera hindsiana</i>	Aloenzimas	Vargas, 2000
Cactaceae	<i>Carnegiea gigantea</i>	Aloenzimas	Jurgenson, 1979; Hamrick <i>et al.</i> , 2002
Cactaceae	<i>Lophocereus schottii</i>	Aloenzimas	Nason <i>et al.</i> , 2002
Cactaceae	<i>Stenocereus thurberi</i>	Aloenzimas	Hamrick <i>et al.</i> , 2002
Cactaceae	<i>Pachycereus pringlei</i>	Aloenzimas	Hamrick <i>et al.</i> , 2002
Cactaceae	<i>Stenocereus gummosus</i>	Aloenzimas	Clark-Tapia y Molina-Freaner, 2003
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>	Aloenzimas	Nuñez-Farfan <i>et al.</i> , 2002
Agavaceae	<i>Agave subsimplex</i>	RAPD	Navarro-Quesada <i>et al.</i> , 2003
Agavaceae	<i>Agave deserti</i>	RAPD	Navarro-Quesada <i>et al.</i> , 2003
Agavaceae	<i>Agave angustifolia</i>	AFLP	Barraza-Morales <i>et al.</i> , 2006; Moreno-Salazar, 2006
Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia grandiflora</i>	Aloenzimas	Cuevas-García <i>et al.</i> , 2006
Poaceae	<i>Pennisetum ciliare</i>	ISSR	Gutiérrez-Ozuna, 2006
Poaceae	<i>Bouteloua curtipendula</i>	AFLP	Morales-Nieto <i>et al.</i> , 2006
Asteraceae	<i>Encelia farinosa</i>	Secuencias del cloroplasto	Fehlberg y Ranker, 2009
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia lomelii</i>	Secuencias del cloroplasto y RFLP	Garrick <i>et al.</i> , 2009

por palomillas nocturnas son superiores a 0.1 (Nason *et al.*, 2002).

Otro patrón recurrente en estudios sobre la diversidad genética de las plantas de la región es la asociación con la latitud. Es bien conocido que las glaciaciones del cuaternario modificaron la distribución geográfica de plantas y animales y produjeron contracciones y expansiones de la distribución en respuesta a los períodos de enfriamiento y calentamiento regional (Comes y Kadereit, 1998). Si estos ciclos se asocian con reducciones significativas (*i.e.*, cuellos de botella) en el tamaño poblacional, y la recolonización ocurre a partir de las poblaciones más sureñas (refugios), se espera una relación inversamente proporcional entre la diversidad genética y la latitud (Hewitt, 1996). Muchos estudios realizados en diferentes regiones del planeta han mostrado los efectos latitudinales de las glaciaciones en la diversidad genética de muchos organismos (Hewitt, 2000). Los estudios sobre la reconstrucción de la vegetación durante el cuaternario muestran evidencia de que la distribución de muchas especies fue afectada por los cambios climáticos del pleistoceno (Van Devender, 1990). Por ejemplo, para un cacto columnar de Baja California (*Lophocereus schottii*), la diversidad genética disminuye con la latitud (figura 1a). Este patrón ha sido interpretado como evidencia de que la recolonización a partir de refugios del sur estuvo acompañada por cuellos de botella poblacionales (Nason *et al.*, 2002; Clark-Tapia y Molina-Freaner, 2003). La diversidad genética de la hierba anual *Kallstroemia grandiflora* también disminuye de las poblaciones sureñas, localizadas en las costas de Jalisco, a las norteñas en el estado de Sonora (figura 1b; Cuevas-García *et al.*, 2006). Este conjunto de

datos sugiere que las glaciaciones del cuaternario dejaron una huella en la estructura genética de las especies de la región.

Los estudios filogeográficos indican que la separación, hace aproximadamente cinco millones de años, de la península de Baja California y la formación del Golfo de California tuvo una enorme influencia en la estructura genética de las plantas de la región (Nason *et al.*, 2002). Los datos sobre la

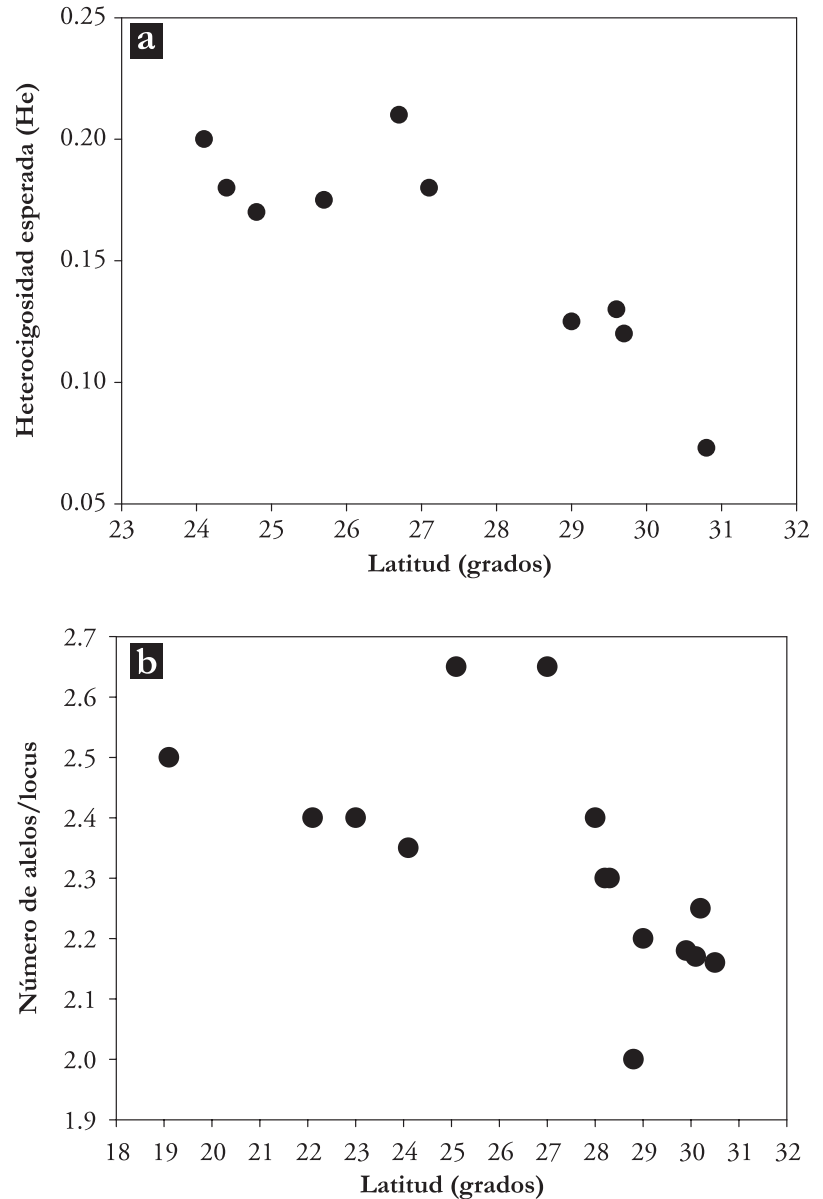


Figura 1. Diversidad genética de (a) *Lophocereus schottii* y (b) *Kallstroemia grandiflora* como función de la latitud. Nótese como la heterocigosidad esperada (He) en *L. schottii* y el número de alelos por loci en *K. grandiflora* disminuye significativamente con la latitud (datos de Nason *et al.*, 2002, y Cuevas-García *et al.*, 2006; reproducido con permiso de Blackwell Publishing Ltd.).

distribución de grupos filéticos de *Lophocereus schottii* sugieren dos eventos de vicarianza histórica. Por un lado, la separación de la península de Baja California de la masa continental se ve reflejada en la topología filogenética de la especie y, por otro, un evento de transgresión marina a la mitad de la península se ve reflejado en la distribución filética de los grupos de Baja California (Nason *et al.*, 2002). Este estudio sugiere que los eventos de vicarianza han tenido una influencia muy importante en la estructura filogeográfica de las plantas de la región. Sin embargo, los datos de ésta y otras especies (Clark-Tapia y Molina-Freaner, 2003) indican que, además de los efectos de la vicarianza histórica, las plantas del desierto sonorense han experimentado ciclos de contracción y expansión (migraciones) debidos a las glaciaciones.

Es evidente que nuestro conocimiento sobre los patrones de diversidad genética de las plantas del estado de Sonora es todavía limitado. A pesar de que empiezan a emerger algunos patrones generales, está claro que existe una gran cantidad de problemas que no han sido abordados. Casi todos los estudios se han concentrado en especies del desierto y se ha puesto poca atención en las especies de las selvas bajas y las de los bosques de pino-encino del estado. Tampoco se ha explorado el papel que jugó la formación y emergencia de la Sierra Madre Occidental en la estructura filogeográfica de plantas con amplia distribución en el norte de México. En particular, el uso de secuencias de ADN, ya sea del cloroplasto o del núcleo, puede aportar evidencia muy valiosa sobre los procesos que determinan la estructura genética y filogeográfica de las plantas del estado.

Invertebrados

No tenemos una idea precisa del número total de especies de invertebrados terrestres que existen en el estado. Sin embargo, para algunos grupos como los helmintos (Pérez-Ponce de León *et al.*, en este vol.), moluscos (Mead *et al.*, en este vol.), artrópodos no hexápodos (Castrezana, en este vol.) e insectos (Bailowitz y Palting, en este vol.), tenemos

una idea aproximada. Con respecto a los estudios sobre la diversidad genética, la mayoría de los trabajos con invertebrados de Sonora también se han concentrado en organismos de la región desértica. De los 13 taxones que han sido examinados a la fecha con aloenzimas y marcadores moleculares (tabla 3), el grupo mejor estudiado es el de las cinco especies de *Drosophila* que utilizan a varias cactáceas como hospederas. El enfoque genético-poblacional también se ha empleado en el estudio de dos insectos que son vectores de enfermedades, la chinche *Triatoma* (transmisora de la enfermedad de Chagas) y el mosquito *Aedes aegypti* (transmisor del dengue).

Drosophilas cactófilas

Los tejidos necróticos de varias especies de cactus columnares del desierto sonorense proveen de un ambiente ideal para el desarrollo, alimentación y reproducción de un grupo de artrópodos (Castrezana y Markow, 2001), entre los que destacan varias especies de dípteros del género *Drosophila*. Este grupo de *Drosophilas* cactófilas incluye a cuatro especies endémicas del desierto sonorense: *D. mojavensis*, *D. nigrospiracula*, *D. pachea* y *D. mettleri*. Cada especie está asociada a una particular de cacto, excepto *D. mettleri*, la cual se reproduce en el suelo impregnado del líquido proveniente de los tejidos en descomposición de varias especies de cactus (tabla 4). Tanto la especificidad del hospedero, como las diferencias en abundancia de las diversas especies de hospedero (Breitmeyer y Markow, 1998), hacen de este grupo de especies desérticas de *Drosophila* un sistema ideal para abordar hipótesis sobre flujo génico y especiación incipiente.

Los primeros estudios con aloenzimas de estas especies de *Drosophila* se llevaron a cabo en la década de los años setenta (Zouros, 1973; Rockwood-Sluss *et al.*, 1973; Sluss, 1975). En su hoy estudio clásico, Zouros (1973) encontró diferencias en las frecuencias alélicas del locus *Adh-2* (alcohol deshidrogenasa) entre las poblaciones de *D. mojavensis* de Baja California y las islas del Golfo con respecto a las poblaciones de Sonora. El alelo de mayor movilidad (*Adh-2^f*) predomina en las po-

Tabla 3. Estudios sobre la diversidad y estructura genética de invertebrados del estado de Sonora

Clase	Orden	Especie	Marcador molecular	Referencia		
Insecta	Diptera	<i>Drosophila mojavensis</i>	Aloenzimas	Zouros, 1973; Heed, 1982; Hocutt, 2000; Pfeiler <i>et al.</i> , 2005		
		<i>D. mojavensis</i>	ADN mitocondrial	Reed <i>et al.</i> , 2007		
		<i>D. mojavensis</i>	Microsatélites	Ross y Markow, 2006		
		<i>D. mojavensis</i>	Secuencias de ADN nuclear	Machado <i>et al.</i> , 2007		
		<i>D. pachea</i>	Aloenzimas	Rockwood-Sluss <i>et al.</i> , 1973; Pfeiler y Markow, 2001; Markow <i>et al.</i> , 2002		
		<i>D. pachea</i>	ADN mitocondrial	Hurtado <i>et al.</i> , 2004		
		<i>D. nigrospiracula</i>	Aloenzimas	Pfeiler y Markow, 2001; Markow <i>et al.</i> , 2002; Sluss, 1975		
		<i>D. nigrospiracula</i>	ADN mitocondrial	Hurtado <i>et al.</i> , 2004		
		<i>D. mettleri</i>	Aloenzimas	Pfeiler y Markow, 2001; Markow <i>et al.</i> , 2002		
		<i>D. mettleri</i>	ADN mitocondrial	Hurtado <i>et al.</i> , 2004		
		<i>D. arizonae</i>	Aloenzimas	Zouros, 1973; Hocutt, 2000		
		<i>D. arizonae</i>	ADN mitocondrial	Reed <i>et al.</i> , 2007		
		<i>D. arizonae</i>	Secuencias de ADN nuclear	Machado <i>et al.</i> , 2007		
		<i>Aedes aegypti</i>	Microsatélites; AFLP	Ravel <i>et al.</i> , 2001		
		<i>A. aegypti</i>	AFLP	Merrill <i>et al.</i> , 2005		
		Hemiptera	<i>Triatoma rubida</i>	<i>Triatoma rubida</i>	ADN mitocondrial	Pfeiler <i>et al.</i> , 2006
				<i>T. rubida</i>	ADN mitocondrial; ADN nuclear	Martínez <i>et al.</i> , 2006
				<i>T. rubida</i>	Aloenzimas	Martínez <i>et al.</i> , 2005
<i>T. recurva</i>	ADN mitocondrial			Pfeiler <i>et al.</i> , 2006		
Coleoptera		<i>Moneilema gigas</i>	ADN mitocondrial	Smith y Farrell, 2005		
		<i>Spodoptera frugiperda</i>	AFLP	Clark <i>et al.</i> , 2006		
Arachnida	Araneae	<i>Homalonychus selenopoides</i>	ADN mitocondrial; ADN nuclear	Crews y Hedin, 2006		
		<i>Habronattus pugillis</i>	ADN mitocondrial	Masta, 2000		
Gastropoda	Neotaenioglossa	<i>Tryonia porrecta</i>	ADN mitocondrial	Hershler <i>et al.</i> , 2005		

blaciones de Baja California, mientras que el alelo de menor movilidad (*Adh-2^S*) predomina en las poblaciones de Sonora. Los estudios posteriores (Richardson *et al.*, 1977; Heed, 1978; Cleland *et al.*, 1996; Hocutt, 2000; Matzkin y Eanes, 2003; Matzkin, 2004) han confirmado las diferencias en frecuencias alélicas del locus *Adh-2* entre las dos regiones geográficas de *D. mojavensis*, lo cual indica que el polimorfismo ha permanecido estable por al menos treinta años. Aunque hay un cambio de hospedero entre Baja California (*Stenocereus gum-*

mosus) y Sonora (*S. thurberi*, excepto en la región costera del Desemboque en Sonora, donde se distribuye *S. gummosus*; tabla 4), el o los factores involucrados en el mantenimiento de este sorprendente polimorfismo genético todavía no se conocen (Pfeiler *et al.*, 2005).

Los trabajos de Rockwood-Sluss *et al.* (1973) y Sluss (1975) fueron los primeros en estudiar la variabilidad y la estructura genética de *D. nigrospiracula* y *D. pachea* en gran parte de su distribución en el desierto sonoreño. Las dos especies difieren

Tabla 4. Resumen de las asociaciones de hospederos para cuatro especies endémicas de *Drosophila* del desierto sonorense

<i>Drosophila</i>	Hospedero
<i>D. mojavensis</i>	<i>Stenocereus thurberi</i> en Sonora y Sinaloa <i>Stenocereus gummosus</i> en Baja California y en una pequeña área de Sonora <i>Ferocactus cylindraceus</i> en el desierto de Mojave <i>Opuntia</i> en la isla Catalina de California
<i>D. nigrospiracula</i>	<i>Pachycereus pringlei</i> en Baja California <i>Carnegiea gigantea</i> en Sonora
<i>D. pachea</i>	<i>Lophocereus schottii</i>
<i>D. mettleri</i>	Fango formado por el líquido que cae debajo del tejido necrótico de varias especies de cactus

en el hospedero (tabla 4), la disponibilidad de recursos (Breitmeyer y Markow, 1998) y la capacidad de dispersión (Markow y Castrezana, 2000). En estos primeros trabajos no se detectó evidencia de estructura poblacional en ninguna de las especies, lo cual ha sido confirmado en un estudio realizado casi treinta años después (Pfeiler y Markow, 2001). Sin embargo, en el caso de *D. pachea*, la existencia de un patrón clinal en los polimorfismos de inversiones cromosómicas en las poblaciones de Sonora (Ward *et al.*, 1974) sugiere adaptación local. En *D. mettleri* tampoco se ha detectado evidencia de estructura poblacional en el desierto sonorense (Pfeiler y Markow, 2001). Curiosamente, las frecuencias alélicas de dos loci polimórficos, *Mdh-1* (malato deshidrogenasa) y *Est-2* (esterasa), detectadas en *D. nigrospiracula* y *D. pachea* (Pfeiler y Markow, 2001), fueron similares a las obtenidas en la década de los años setenta (Rockwood-Sluss *et al.*, 1973; Sluss, 1975). De nuevo, los factores responsables del mantenimiento de la estabilidad temporal de las frecuencias alélicas en estas especies que experimentan grandes fluctuaciones de su tamaño poblacional (Breitmeyer y Markow, 1998) no se conocen.

Los estudios de las poblaciones de *D. mojavensis* y *D. arizonae* de Sonora también concluyeron que no existe estructura poblacional en estas especies (Hocutt, 2000); un hallazgo consistente con los resultados de *D. nigrospiracula*, *D. pachea* y *D.*

mettleri. Sin embargo, en el caso de *D. mojavensis* se encontraron niveles significativos de diferenciación genética entre poblaciones de Baja California y Sonora (Hocutt, 2000). Este resultado es consistente con la diferencia en las frecuencias alélicas en el locus *Adh-2* observada por Zouros (1973) e indica que el Golfo de California representa una barrera para el flujo génico de esta especie (y muchas otras). En contraste, los estudios con aloenzimas no detectaron evidencia de estructura poblacional entre poblaciones alopátricas de *D. nigrospiracula* y *D. mettleri* del desierto sonorense continental y de la península de Baja California (Markow *et al.*, 2002).

En resumen, los estudios con aloenzimas indican que a pesar de las diferencias en hospedero y en atributos de historia de vida, las cinco especies de *Drosophila* cactófilas de Sonora tienen pocas restricciones para el flujo génico en la región. Asimismo, el Golfo de California parece representar una barrera importante para el flujo génico en *D. mojavensis* pero no en *D. nigrospiracula* y *D. mettleri*.

El análisis de secuencias de ADN mitocondrial [(subunidad I del gen de la citocromo oxidasa (*coi*)] de poblaciones de *D. nigrospiracula*, *D. pachea* y *D. mettleri* del noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos mostró que las poblaciones no están estructuradas (Hurtado *et al.*, 2004). Tampoco se detectaron diferencias entre las poblaciones de *D. nigrospiracula* y *D. mettleri* de Baja California y Sonora. Sin embargo, en el caso de *D. pachea*, la evidencia indica niveles significativos de diferenciación entre las dos regiones, lo que sugiere que el Golfo representa una barrera importante para el flujo génico de esta especie (Hurtado *et al.*, 2004). El análisis de las diferencias entre haplotipos sugiere que cada una de las tres especies ha estado sujeta a eventos de expansión poblacional.

Reed *et al.* (2007) usaron datos de secuencias de ADN mitocondrial del gen *coi* para examinar poblaciones de *D. mojavensis* y *D. arizonae* de Sonora y regiones adyacentes. Sus resultados mostraron que las poblaciones de *D. arizonae* de Sonora y Baja California no están estructuradas. En el caso de *D. mojavensis*, y en concordancia con los estu-

dios basados en aloenzimas, se encontró que las poblaciones de Sonora no están diferenciadas entre sí. En contraste, hubo una marcada diferenciación genética entre las poblaciones de Baja California y Sonora. Sin embargo, el hecho de compartir algunos haplotipos entre las dos regiones sugiere que la barrera al flujo génico impuesta por el Golfo de California podría ser incompleta.

El análisis de microsatélites de *D. mojavensis* también mostró que las poblaciones de Sonora y el sur de Arizona no están diferenciadas unas de otras, aunque difieren significativamente de las de Baja California (Ross y Markow, 2006). Un análisis filogenético reciente de 8 052 pares de bases de nueve loci nucleares concatenados de *D. mojavensis* y *D. arizonae* (Machado *et al.*, 2007) también mostró una falta de estructura poblacional entre las muestras de Sonora en las dos especies. Sin embargo, tanto los datos nucleares (Machado *et al.*, 2007) como los de ADN mitocondrial (Reed *et al.*, 2007) mostraron que una población de *D. arizonae* de Arizona difiere significativamente de las poblaciones de Sonora, hecho que no se había detectado con aloenzimas (Hocutt, 2000).

En resumen, los estudios de genética de poblaciones de las cinco especies de *Drosophila* cactófilas sugieren que existe flujo génico a través de Sonora, el Golfo de California y otras áreas desérticas e indican que, con algunas excepciones, las poblaciones de todas las especies se comportan de manera panmíctica en la región y muestran evidencias de que todas las poblaciones están expandiéndose.

Insectos vectores de enfermedades

El mosquito *Aedes aegypti* transmite el virus causante de la fiebre del dengue, el cual es un serio problema de salud que ha resurgido recientemente en Sonora. Dado que no hay vacuna disponible, la eliminación del vector es la única medida efectiva de control. Por esta razón, la información sobre la diversidad genética y la capacidad de dispersión del vector es esencial para diseñar medidas de control e inferir las fuentes de recolonización. Ravel *et al.* (2001) estudiaron la diversidad genética de poblaciones de Hermosillo y Guaymas de este mos-

quito usando microsatélites y AFLP como marcadores moleculares. Los microsatélites mostraron poca diversidad genética, aunque se pudieron distinguir poblaciones del norte y sur de Hermosillo. Los AFLP fueron más informativos y el análisis de la diferenciación genética sugirió que la fuente de invasión de este vector hacia Hermosillo fue de las poblaciones de Guaymas. Este mismo marcador fue empleado por Merrill *et al.* (2005) para estudiar la diversidad y la estructura genética y las tasas de migración entre poblaciones de *A. aegypti*. Aunque el estudio estuvo centrado en Arizona, incluyó poblaciones de Nogales y de Hermosillo en Sonora. Los resultados mostraron que las poblaciones se agrupan en tres clados separados con migración infrecuente entre poblaciones. Las poblaciones de Sonora se agruparon con el clado de Arizona que incluye las poblaciones de Tucson y Tempe. Tanto el estudio de Ravel *et al.* (2001) como el de Merrill *et al.* (2005) sugieren que la migración del vector ocurre principalmente por transporte humano a través de carreteras.

Las chinches *Triatoma rubida* y *T. recurva* son comunes en áreas habitadas por humanos en Sonora y ambas son vectores conocidos del protozooario parásito *Trypanosoma cruzi*, causante de la enfermedad de Chagas (Paredes *et al.*, 2001). Sin embargo, en contraste con el problema de salud que representa esta enfermedad en el sureste de México, la enfermedad de Chagas no es un problema serio de salud en Sonora. Igual que en el caso de la fiebre del dengue, no hay una vacuna contra el Chagas y por lo tanto el control depende de la eliminación del vector. Pfeiler *et al.* (2006) estudiaron las relaciones filogenéticas y la diversidad genética de estas dos especies de chinches y encontraron que ambas muestran niveles significativos de diferenciación entre poblaciones de Sonora y Arizona, lo cual sugiere poco flujo génico entre estas dos regiones. En una población de *T. rubida* de La Paz, Baja California Sur, fue posible analizar secuencias génicas para calibrar provisionalmente el reloj molecular del ADN mitocondrial (Pfeiler *et al.*, 2006). Basado en las estimaciones geológicas sobre la fecha de separación de la pe-

nínsula de Baja California de la placa de México (hace ~5-8 millones de años), se estimó que la divergencia de secuencias para los genes *Cytb* y *COI* fue de 1.1-1.8% y 0.6-1.0% por millón de años, respectivamente.

Es evidente que nuestro conocimiento sobre la diversidad genética de invertebrados es todavía muy limitado. Los pocos estudios se concentran en insectos de la parte desértica del estado y aún existen muy pocos estudios sobre invertebrados de agua dulce, así como de las selvas bajas y los bosques de clima templado del estado. También es evidente que existen muy pocos estudios sobre la diversidad genética de invertebrados que representan problemas para la salud humana y para la agricultura del estado. El estudio de estos invertebrados puede aportar información útil sobre las rutas de migración que puede ser usada en el diseño de medidas de control efectivas.

Peces dulceacuícolas

La ictiofauna dulceacuícola de Sonora incluye a 54 especies nativas y al menos 26 especies introducidas (Varela-Romero y Hendrickson, en este vol.). El conocimiento de la diversidad genética de este grupo es heterogéneo y su mayor contribución es sobre la familia Poeciliidae. Este interés se inició con el descubrimiento de un pez partenogénico del género *Poeciliopsis*, unisexual, que habita el sur de Sonora (Miller y Schultz, 1959). El término partenogénesis es usado para designar la forma de reproducción mediante la cual se desarrollan individuos de un solo sexo, generalmente hembras, a partir de un óvulo sin la participación de las células sexuales masculinas. Desde entonces a la fecha se han registrado más de una decena de formas unisexuales que habitan en las cuencas de los ríos Mayo y Fuerte en el sur de Sonora (Vrijenhoek, 1978; Quattro *et al.*, 1991). Por más de treinta años, el doctor Robert C. Vrijenhoek ha desarrollado una línea de investigación sobre estos peces unisexuales. Los primeros estudios se basaron en rasgos morfológicos y posteriormente fueron confirmados a nivel molecular. Esta información

ha sido publicada en cerca de cincuenta artículos donde se describe el papel de la reproducción sexual y asexual en esta singular fauna íctica del noroeste de México (Vrijenhoek, s.f.). Estos estudios han tenido como objetivo entender el origen de clones unisexuales (Quattro *et al.*, 1991 y 1992), las relaciones que presentan con las especies sexuales con las que coexiste y la función ecológica de estas generaciones de peces unisexuales en ambientes naturales, así como los procesos evolutivos involucrados en los tipos de reproducción sexual y asexual observados durante largos años (Leslie y Vrijenhoek, 1977; Vrijenhoek *et al.*, 1978; Mateos y Vrijenhoek, 2002). También se ha estudiado la ecología de híbridos (Schenck y Vrijenhoek, 1989), el papel del ambiente en la ventaja de las especies sexuales con respecto a los clones unisexuales (Vrijenhoek, 1978 y 1979) y las aplicaciones de esta información para la conservación (Vrijenhoek, 1994) y el manejo de estas especies tropicales (Vrijenhoek, 1998a y 1998b; Vrijenhoek *et al.*, 1985; Meffe y Vrijenhoek, 1988).

Más que una descripción de los patrones de variación genética de los peces de Sonora proporcionados por los distintos marcadores moleculares utilizados (tabla 5), se muestran aquí las principales aportaciones de la información publicada hasta el momento. Los marcadores moleculares han probado su utilidad al detectar la estructura geográfica de la diversidad genética en *P. occidentales*, *P. lucida*, *P. monacha* y *P. latidens* (Vrijenhoek, 1998a). Un importante aporte ha sido el reconocimiento de los eventos de hibridogénesis, variante reproductiva partenogénica en la que se aportan rasgos parciales del genoma paterno en la formación de hemiclones de *P. mocha-occidentalis* con *P. occidentales* desde el río Mayo y al norte hasta la cuenca del río de la Concepción, además de la formación de hemiclones de *P. monacha-lucida* con *P. lucida* hacia el sur en el arroyo Cuchujaqui en la cuenca del río Fuerte en el sur de Sonora, originados por procesos de hibridización iniciales entre las especies sexuales *P. monacha* y *P. occidentales* y entre las de *P. monacha* y *P. lucida* (Vrijenhoek, 1995). Las estimaciones de la variabilidad genética con aloenzi-

Tabla 5. Estudios sobre la diversidad y estructura genética de peces dulceacuícolas del estado de Sonora

Familia	Especie	Marcador molecular	Referencia
Salmonidae	<i>Oncorhynchus</i> sp (trucha yaqui)	ADN mitocondrial (microsatélites, D-loop)	Nielsen <i>et al.</i> , 1998; Nielsen y Sage, 2001; Mayden <i>et al.</i> , 2006; Camarena-Rosales <i>et al.</i> , 2008
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis occidentalis</i>	Aloenzimas, ADN mitocondrial (cytb, ND2)	Vrijenhoek <i>et al.</i> , 1978 y 1985; Meffe y Vrijenhoek, 1981 y 1988; Quattro <i>et al.</i> , 1991; Vrijenhoek, 1994 y 1995; Quattro <i>et al.</i> , 1996; Vrijenhoek (1998a y 1998b); Mateos <i>et al.</i> , 2002
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis monacha</i>	Aloenzimas, ADN mitocondrial (cytb, ND2)	Vrijenhoek, 1979; Schenk <i>et al.</i> , 1989; Quattro <i>et al.</i> , 1991; Quattro <i>et al.</i> , 1992; Vrijenhoek, 1994; Vrijenhoek, 1995; Mateos y Vrijenhoek, 2002; Mateos <i>et al.</i> , 2002
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis prolifica</i>	ADN mitocondrial (cytb, ND2)	Mateos <i>et al.</i> , 2002
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis lucida</i>	ADN mitocondrial (cytb, ND2)	Vrijenhoek, 1979 y 1994; Mateos y Vrijenhoek, 2002; Mateos <i>et al.</i> , 2002
Cyprinodontidae	<i>Cyprinodon macularius</i>	Aloenzimas, AND mitocondrial (ND2, D-loop)	Turner, 1983; Echelle <i>et al.</i> , 2000
Cyprinodontidae	<i>Cyprinodon eremus</i>	ADN mitocondrial (ND2, D-loop)	Echelle <i>et al.</i> , 2000
Ictaluridae	<i>Ictalurus pricei</i>	ADN mitocondrial (cytb, 12SrRNA)	Varela-Romero, 2007

mas ha permitido entender los procesos de extinción y recolonización de demes locales de *P. monacha* y del unisexual *P. monacha-lucida* en el arroyo Jaguari en el sur de Sonora y las oscilaciones de la heterocigosis promedio de acuerdo a la dominancia de la población sexual o asexual existente en el curso natural del arroyo (Vrijenhoek, 1994).

Los estudios sobre la filogeografía y filogenia de peces dulceacuícolas de Sonora son escasos. La filogenia de *Poeciliopsis* de Sonora revela el origen sureño de estos peces tropicales y agrupa a las especies norteñas de *Poeciliopsis* en dos clados, uno para las especies hermanas *P. occidentales* y *P. lucida* junto con *P. prolifica* y otro donde se incluye a *P. monacha* con *P. viriosa*, especie que no tiene distribución en Sonora; todas ellas dentro del subgénero *Poeciliopsis* (Quattro *et al.*, 1992 y 1996; Mateos *et al.*, 2002). Aparentemente un evento geológico es el responsable de la distribución norteña de estas especies tropicales del género *Poeciliopsis* (Mateos *et al.*, 2002). La información filogeográfica de otros grupos de peces también es muy escasa. La filogenia conocida de la familia Cyprino-

odontidae se limita, utilizando aloenzimas, al esclarecimiento de las relaciones del complejo de formas de *Cyprinodon macularius* en el noroeste de México (Turner, 1983), así como al reconocimiento a nivel mitocondrial de *C. eremus* y *C. macularius* como únicas especies del género en el noroeste de México (Echelle *et al.*, 2000). Para las truchas del género *Oncorhynchus* se ha reconocido su origen a través de transferencia entre las cuencas contiguas (Yaqui-Casas Grandes) a la división continental en el noroeste de México y la singularidad de los mecanismos de transcripción del ADN mitocondrial sugiere un estatus evolutivo único para este grupo (Nielsen, 1996 y 1997; Nielsen *et al.*, 1997 y 1998). Finalmente, un estudio basado en genes de la mitocondria mostró que el complejo de formas similares del bagre yaqui (*Ictalurus pricei*), que se extiende a lo largo de la vertiente Pacífico de la Sierra Madre Occidental, está constituido por unidades evolutivas independientes. Asimismo, estos estudios demostraron que *I. pricei* está restringido a los ríos Yaqui, Mayo y Fuerte (Varela-Romero, 2007), por lo que es posible que el resto de las formas na-

tivas de bagre que se encuentran al sur constituyan más de una especie y pertenezcan a un clado único y determinante dentro de la filogenia del género en México (Varela-Romero, 2007).

La mayoría de los estudios han utilizado marcadores moleculares para reconstruir la filogenia de grupos particulares y muy pocos han descrito los patrones geográficos de distribución de la diversidad genética dentro y entre las especies, de tal forma que, aunque sabemos que la colonización de Sonora por los principales grupos de peces neotropicales ocurrió como consecuencia de eventos de vicarianza en la región volcánica del centro del país (Mateos *et al.*, 2002), los eventos que promovieron la invasión de los peces neárticos aún no están claros. Por lo que se refiere a la divergencia entre las poblaciones del Desierto Sonorense y las del Desierto Chihuahuense ésta ha sido atribuida a la fragmentación causada por la emergencia de la Sierra Madre Occidental. En todo caso, el variado mosaico ambiental sonorense representa un excelente sistema para estudiar problemas de genética de poblaciones y filogeografía al interior de las cuencas hidrológicas y su variación altitudinal. Como parte de ello, el avance en el conocimiento del origen y evolución de los peces nativos del estado de Sonora será determinante para explicar el papel de la formación y emergencia de la Sierra Madre Occidental en la estructura filogeográfica de la ictiofauna Sonorense. En el mismo sentido, diversos aspectos de genética y ecología de los peces nativos de origen neotropical han sido estudiados como sistema modelo; sin embargo, para los peces neárticos como para los ciprínidos, catostómidos, ictalúridos y salmónidos no se han estudiado. El estado del conocimiento ofrece, entonces, un panorama alentador para la utilización de marcadores mitocondriales y nucleares como herramientas en el estudio de su especiación y variación genética.

No obstante, las crecientes amenazas que se cierren sobre la ictiofauna nativa de Sonora (véase Varela-Romero y Hendrickson, en este vol.) indican la apremiante necesidad de establecer una colección de especímenes que permita la extracción

de ADN y que sirva como base para el conocimiento de la diversidad genética de los peces nativos del estado. Los peces son un grupo muy vulnerable y algunas de las especies que habitan en Sonora se encuentran seriamente amenazadas. Por esta razón, es urgente que emprendamos el estudio de los patrones de diversidad genética con el objetivo de aportar conocimientos básicos para desarrollar estrategias de conservación.

Anfibios y reptiles

La herpetofauna de Sonora incluye a 35 especies de anfibios y 140 de reptiles de ambientes terrestres y dulceacuícolas (Enderson *et al.*, en este vol.). En este caso, el auge y la combinación de marcadores moleculares con el enfoque filogeográfico ha contribuido significativamente al aumento de estudios a escala nacional y en la región del noroeste (28 especies; tabla 6). En un principio, la mayoría de los estudios se centraron en la resolución de los problemas en sistemática y taxonomía (*v.g.*, Shaffer, 1983; Upton y Murphy, 1997; Frost *et al.*, 2006). Recientemente, una explosión de estudios en filogeografía de diversos taxones ha incluido poblaciones de Sonora. El impacto de las nuevas técnicas y enfoques ha alcanzado incluso problemas de la conservación genética de especies (*v.g.*, Edwards *et al.*, 2004). La mayor parte de los estudios genéticos donde se ha incluido poblaciones de Sonora se han basado en ADN mitocondrial (véase tabla 6).

El patrón biogeográfico general derivado de los estudios genéticos indica que la región del noroeste de México representa un mosaico de los efectos de eventos históricos que conformaron el paisaje y la evolución de la biota de la región. Las huellas de dichos eventos se han podido seguir gracias a la incorporación y desarrollo de la demografía histórica y la filogeografía estadística (Templeton, 2004). Estos métodos de análisis han sido aplicados a anfibios y reptiles muy diversos (*v.g.*, Quijada-Mascareñas *et al.*, 2007). En particular, para la región del noroeste de México y suroeste de Estados Unidos, muchos taxa presentan historias complejas.

Tabla 6. Estudios sobre la diversidad y estructura genética de anfibios y reptiles del estado de Sonora

Familia	Especie	Marcador molecular	Referencia
Ambystomidae	<i>Ambystoma rosaceum</i>	Aloenzimas	Schaffer, 1983
Ambystomidae	<i>Ambystoma tigrinum</i>	Microsatelites	Storfer <i>et al.</i> , 2004
Bufo	<i>Bufo mazatlanensis</i>	ADN mitocondrial	Pauly <i>et al.</i> , 2004
Bufo	<i>Bufo punctatus</i>	ADN mitocondrial	Riddle <i>et al.</i> , 2000c; Jaeger <i>et al.</i> , 2005
Hylidae	<i>Hyla arenicolor</i>	ADN mitocondrial	Barber, 1999a y 1999b
Hylidae	<i>Hyla wrightorum</i>	Aloenzimas, ADN mitocondrial	Gergus <i>et al.</i> , 2004
Leptodactylidae	<i>Eleutherodactylus augusti</i>	ADN mitocondrial, ADN nuclear	Goldberg <i>et al.</i> , 2004; Frost <i>et al.</i> , 2006
Ranidae	<i>Rana forreri</i>	ADN mitocondrial	Zaldívar-Riverón <i>et al.</i> , 2004
Testudinidae	<i>Gopherus agassizii</i>	Microsatelites, ADN mitocondrial	Edwards <i>et al.</i> , 2004; Lamb <i>et al.</i> , 1989
Iguanidae	<i>Sauromalus varius</i>	Microsatelites, ADN mitocondrial	Petren y Case, 1997 y 2002; McAliley <i>et al.</i> , 2006
Iguanidae	<i>Sauromalus ater</i>	ADN mitocondrial	Petren y Case, 1997
Phrynosomatidae	<i>Callisaurus draconoides</i>	Aloenzimas, ADN mitocondrial, ADN nuclear	Adest, 1987; Wilgenbusch y De Queiroz, 2000; Lindell <i>et al.</i> , 2005
Phrynosomatidae	<i>Phrynosoma ditmarsii</i>	ADN mitocondrial	Reeder y Montanucci, 2001
Phrynosomatidae	<i>Phrynosoma goodei</i>	ADN mitocondrial	Mulcahy <i>et al.</i> , 2006
Phrynosomatidae	<i>Phrynosoma mcallii</i>	ADN mitocondrial	Mulcahy <i>et al.</i> , 2006
Phrynosomatidae	<i>Phrynosoma platyrhinus</i>	ADN mitocondrial	Mulcahy <i>et al.</i> , 2006
Phrynosomatidae	<i>Phrynosoma solare</i>	ADN mitocondrial	Reeder y Montanucci, 2001
Phrynosomatidae	<i>Sceloporus magister</i>	ADN mitocondrial	Schulte <i>et al.</i> , 2006
Phrynosomatidae	<i>Uma rufopunctata</i>	ADN mitocondrial	Trepanier y Murphy, 2001
Phrynosomatidae	<i>Uta stansburiana</i>	ADN mitocondrial	Upton y Murphy, 1997
Teiidae	<i>Aspidozelis tigris</i>	ADN mitocondrial	Radtkey <i>et al.</i> , 1997
Xantusiidae	<i>Xantusia vigilis</i>	ADN mitocondrial	Sinclair <i>et al.</i> , 2004
Colubridae	<i>Trimorphodon biscutatus</i>	ADN mitocondrial	Devitt, 2006
Viperidae	<i>Crotalus atrox</i>	ADN mitocondrial	Castoe <i>et al.</i> , 2007
Viperidae	<i>Crotalus cerastes</i>	ADN mitocondrial	Douglas <i>et al.</i> , 2006
Viperidae	<i>Crotalus mitchellii</i>	ADN mitocondrial	Douglas <i>et al.</i> , 2006
Viperidae	<i>Crotalus molossus</i>	ADN mitocondrial	Wüster <i>et al.</i> , 2005
Viperidae	<i>Crotalus tigris</i>	ADN mitocondrial	Douglas <i>et al.</i> , 2006

Muchos linajes son muy antiguos y datan desde el Mioceno, donde las divergencias corresponden a procesos de vicarianza orogénica. Otros linajes están asociados con oscilaciones climáticas ocurridas durante el Cuaternario y reciente (*v.g.*, Jaeger *et al.*, 2005; Douglas *et al.*, 2006).

En los anfibios, los estudios más recientes muestran una gama compleja de procesos que derivaron en la dispersión, vicarianza y diferenciación de diversos linajes. El patrón filogeográfico general del sapo punteado, *Bufo punctatus*, concuerda con la distribución de los desiertos Sonorense, Mojave, Chihuahuense y de la Baja California (Jaeger *et al.*,

2005). Los linajes de *B. punctatus* están distribuidos en tres clados altamente divergentes que reflejan eventos de vicarianza regional. Éstos están asociados con el origen de la península de Baja California, el de la meseta del Colorado y el de la Sierra Madre Occidental. Desafortunadamente, el análisis de las poblaciones de Sonora fue ignorado. Basándonos en las conclusiones derivadas del análisis de las otras poblaciones, las de Sonora probablemente son producto de una invasión y expansión de su distribución durante el período Pleistoceno-Holoceno (*i.e.*, 2 Ma). Patrones similares han sido reportados en otros anfibios, pero nuevamente la

información directa sobre poblaciones en Sonora ha sido marginal.

Los organismos modelo más estudiados para entender los patrones genéticos y biogeográficos de la región del noroeste de México y suroeste de Estados Unidos han sido las lagartijas. La región más estudiada ha sido la de las islas del Golfo de California (Murphy y Aguirre-León, 2002). En estos estudios se han incluido las especies continentales de la costa del Pacífico mexicano, así como los taxones hermanos de la península de Baja California. Por consiguiente, muchos de los patrones genéticos de las lagartijas de Sonora han servido de base comparativa para los patrones asociados al Golfo. Un punto importante es que los recientes estudios filogeográficos y genéticos en las lagartijas del Golfo de California han sido utilizados para someter a prueba hipótesis ecológicas, como la de exclusión competitiva y desplazamiento de carácter en lagartijas (Radtkey *et al.*, 1997). Estas hipótesis ecológicas se habían utilizado para explicar patrones biogeográficos en el Golfo de California, generando gran controversia en el pasado (Murphy y Aguirre-León, 2002).

Uno de los fenómenos más interesantes detectados en esta región es el de la evolución del gigantismo en iguanas herbívoras del género *Sauromalus* (Murphy y Aguirre-León, 2002; Petren y Case, 1997). Estas iguanas ocurren tanto en el continente como en las islas y la península de Baja California. Las poblaciones continentales (Sonora y Arizona) y de la península presentan un tamaño más o menos uniforme a lo largo de su distribución, pero las poblaciones que ocurren en las islas Ángel de la Guarda (Baja California) y San Esteban (Sonora) representan casos de gigantismo y llegan a ser cinco veces más grandes que sus congéneres en otros lugares. Antes del uso de análisis filogenéticos, la hipótesis prevaleciente era que el gigantismo era un carácter ancestral derivado de las especies de iguanas más cercanas a *Sauromalus*. Sin embargo, la filogenia molecular indica que el gigantismo es un carácter derivado que obedece al aislamiento insular, libre de competidores por recursos y de depredadores (Petren y Case, 1997 y 2002).

Recientemente se estudió la filogeografía de la serpiente de lira (*Trimorphodon biscutatus*) con el propósito de evaluar hipótesis biogeográficas relacionadas con la transición entre las regiones Neártica y Neotropical de México (Remington, 1968; Devitt, 2006). El patrón filogeográfico mostró que las poblaciones de esta especie provienen de linajes muy divergentes relacionados con el origen de las principales barreras orogénicas de México (*v.g.*, Península de Baja California, Sierra Madre Occidental, Altiplanicie Mexicana). Las poblaciones de Sonora se asocian con el linaje de los desiertos Chihuahuense y Sonorense. Este linaje presenta escasa divergencia genética entre las poblaciones de ambos desiertos, lo cual contrasta con las diferencias morfológicas entre ambas áreas.

Las serpientes de cascabel han sido un icono de los desiertos, en particular del Desierto Sonorense. Recientemente han aparecido estudios filogeográficos que abordan la evolución de estos reptiles en los desiertos de Norteamérica (Castoe *et al.*, 2007; Douglas *et al.*, 2006; Wüster *et al.*, 2005). Algunas especies como la cascabel de cola negra (*Crotalus molossus*) se derivan de linajes muy antiguos que representan un complejo de especies no descritas (Wüster *et al.*, 2005). Por otro lado, estudios filogeográficos comparativos indican que la diversidad actual de muchas especies de serpientes de cascabel de los desiertos de Norteamérica es el resultado de una compleja interacción de los factores orogénicos y paleoclimáticos (Castoe *et al.*, 2007; Douglas *et al.*, 2006).

Finalmente, el uso de marcadores moleculares en la conservación biológica ha resaltado la magnitud del efecto antropogénico sobre la estructura y diversidad genética de muchas especies de reptiles. Por ejemplo, un estudio basado en microsátelites ha mostrado que la transformación del paisaje producida por las actividades humanas afecta el flujo génico entre las poblaciones de Arizona de la tortuga del desierto *Gopherus agassizii* (Edwards *et al.*, 2004) y las expone a serios cuellos de botella demográficos y genéticos. Dado que el Desierto Sonorense está experimentando un fuerte proceso de transformación del paisaje, y que la tortuga del

desierto es perseguida intensamente en Sonora, los patrones observados en Arizona podrían estar presentes en las poblaciones del estado.

Aves

La avifauna de Sonora consta de 543 especies (Villaseñor *et al.*, en este vol.); de éstas, sólo en diez especies se conocen algunos aspectos de su diversidad genética. La historia de los estudios genéticos y filogeográficos de las aves de Sonora es reciente y se remonta a escasos diez años. En la actualidad estos estudios siguen siendo relativamente pocos, aunque se han incrementado considerablemente a partir de los últimos dos años (tabla 7).

Los trabajos formales sobre la genética y la filogeografía de las aves de Sonora comenzaron a partir del trabajo de Zink *et al.* (1997). Basados en análisis filogeográficos de la variación en el ADN mitocondrial, ellos estudiaron los límites de especie en el complejo *Toxostoma lecontei* o Cuitlacoche pálido. Las poblaciones norteñas de esta ave, que incluyen a California, el noroeste de Baja California y el noroeste de Sonora, fueron propuestas como una especie independiente de la población endémica del desierto del Vizcaíno (*Toxostoma arenicola*) que habita en el centro de la península de Baja California. Esta propuesta se basó en el hallazgo de diferencias significativas en los patrones de variación genética y la coloración de las aves.

Una de las especies de aves mejor estudiada genéticamente en la entidad es el complejo del Cuitlacoche Pico-Curvo (*Toxostoma curvirostre*), ya que desde hace algunos años se han llevado a cabo estudios encaminados al entendimiento de los patrones de diferenciación. Zink y Blackwell-Rago (2000) analizaron el ADN mitocondrial de estas aves y encontraron que las poblaciones de la planicie costera del Pacífico y del Desierto Sonorense, incluyendo a todo el estado de Sonora, corresponden a una forma genéticamente independiente de *curvirostre* (formalmente reconocida como *T. palmeri*). Estos resultados fueron apoyados posteriormente por un estudio sobre la variación morfológica en este mismo grupo (Rojas-Soto, 2003). Dentro del complejo *curvirostre* existe además una subespecie endémica de la Isla del Tiburón (*T. c. insularum*), pero su análisis genético quedó pendiente en el estudio de Zink y Blackwell-Rago (2000) debido a la falta de muestras. Recientemente Rojas-Soto *et al.* (2007) utilizaron los mismos marcadores y realizaron un nuevo análisis sobre la filogeografía y los patrones de diferenciación genética e incluyeron a cuatro individuos provenientes de la Isla del Tiburón. Sus resultados sugieren que esta población tiene haplotipos compartidos con las poblaciones continentales, por lo que no se justifica el uso de la categoría subespecífica (*insularum*) para la población de la Isla.

Sin duda, uno de los trabajos que permitió la

Tabla 7. Estudios sobre la diversidad y estructura genética de aves del estado de Sonora

Orden	Especie	Marcador molecular	Referencia
Passeriformes	<i>Toxostoma lecontei</i>	ADN mitocondrial	Zink <i>et al.</i> , 1997
Passeriformes	<i>Toxostoma</i> sps.	ADN mitocondrial	Zink <i>et al.</i> , 1999
Passeriformes	<i>Toxostoma curvirostre</i>	ADN mitocondrial	Zink y Blackwell-Rago, 2000; Rojas-Soto <i>et al.</i> , 2007
Passeriformes	<i>Pipilo fuscus</i>	ADN mitocondrial	Zink <i>et al.</i> , 2001
Passeriformes	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	ADN mitocondrial	Zink <i>et al.</i> , 2001
Passeriformes	<i>Poliophtila melanura</i>	ADN mitocondrial	Zink <i>et al.</i> , 2001
Passeriformes	<i>Auriparus flaviceps</i>	ADN mitocondrial	Zink <i>et al.</i> , 2001
Galliformes	<i>Meleagris gallopavo</i>	AFLP, ADN mitocondrial y microsátelites	Mock <i>et al.</i> , 2002
Passeriformes	<i>Passerculus sandwichensis</i> , <i>P. rostratus</i>	ADN mitocondrial	Zink <i>et al.</i> , 2005
Strigiformes	<i>Glaucidium brasilianum</i>	ADN mitocondrial	Proudfoot <i>et al.</i> , 2006

elaboración de nuevas hipótesis biogeográficas sobre la región fue el realizado por Zink *et al.* (2001). Ellos compararon secuencias de ADN mitocondrial de seis especies distribuidas a través de las zonas áridas de Norteamérica. Sus resultados demostraron que las poblaciones de los desiertos Sonorense y Chihuahuense del cuitlacoche pico-curvo (*Toxostoma curvirostre*) y del rascador arroyero (*Pipilo fuscus*) tienen una clara división filogeográfica. En contraste, la matraca desértica (*Campylorhynchus brunneicapillus*), la perlita colinegra (*Poliophtila melanura*) y el baloncillo (*Auriparus flaviceps*) no presentaron esta división. Ellos sugieren que la carencia de una estructura filogeográfica congruente entre ambos desiertos de estas tres últimas especies habla de que éstas podrían haber colonizado recientemente su área actual de distribución. De igual forma, señalan que a pesar de que estas especies actualmente forman parte de una avifauna ampliamente distribuida, su distribución fue históricamente diferente a la actual.

Zink *et al.* (2005) compararon secuencias de dos genes mitocondriales (ND2 y ND3) entre individuos del gorrión sabanero (*Passerculus sandwichensis*) provenientes de Baja California, la costa de Sonora y el intervalo de distribución al norte del continente, que incluyó localidades como Alaska, Washington, Ontario, Nueva Escocia y Newfoundland. Encontraron que las poblaciones de Baja California y Sonora formaron un clado, al que proponen como una especie independiente (*Passerculus rostratus*); por el contrario, sugieren que el otro clado, conformado por individuos fenotípicamente «típicos», debe clasificarse como *P. sandwichensis*.

Proudfoot *et al.* (2006) examinaron los patrones de variación genética de ADN mitocondrial (citocromo b) dentro y entre poblaciones del tecolote bajoño (*Glaucidium brasilianum*). Ellos incluyeron tanto a las poblaciones de Sudamérica (Argentina, Brasil y Bolivia) como a las de Norteamérica (del oeste, Arizona, Sonora y Sinaloa, así como del este y sureste, incluyendo Texas, Tamaulipas y los estados del sureste de México). Sus resultados sugieren que hay dos grupos genéticos evidentes,

el de Norteamérica (al cual proponen como *G. ridgwayi*) y el sudamericano, *G. brasilianum*. Encontraron además que las poblaciones del oeste de Norteamérica (Arizona, Sonora y Sinaloa) son genéticamente distintas a las del este y sureste de México, sin haplotipos compartidos y con un flujo génico muy bajo entre ellas, por lo que sugieren que esto fue producto de una fragmentación coincidente con la formación del Desierto Sonorense y la Sierra Madre Occidental. Sin embargo, no proponen cambios a un nivel específico, sino subespecífico, dentro de las poblaciones norteamericanas.

Los escasos trabajos realizados a la fecha en Sonora han tenido un fuerte impacto particularmente en la sistemática de las aves, ya que se propone el reconocimiento de nuevas especies y cambio o sinonimización de nombre en otras. Esto, además de modificar el número total de especies para la entidad, podría tener implicaciones en conservación de la biodiversidad, debido a que la alteración en la taxonomía de los grupos tiene repercusiones en la identificación de áreas de acumulación de riqueza y del endemismo (Peterson y Navarro, 1999). Por otro lado, los estudios sobre la variación genética y la filogeografía permiten poner a prueba hipótesis biogeográficas que, para el caso de la avifauna de Sonora, han permitido el reconocimiento de algunos patrones generales. Tal es el caso de aquellas especies que han tenido una fuerte asociación con la reciente expansión de las zonas áridas del Desierto Sonorense, en contraste con otras que presentan una clara diferenciación genética que coincide con la división entre los desiertos Chihuahuense y Sonorense.

Ciertamente aún quedan muchas preguntas sin responder; por ejemplo, aquéllas relacionadas con la separación de la península de Baja California y su influencia en la diversidad genética y en la especiación de los grupos de amplia distribución o sobre la variación genética de la avifauna de las zonas montañosas, en especial de la Sierra Madre Occidental.

Mamíferos

La fauna de mamíferos terrestres en el estado de So-

nora comprende 124 especies (Castillo-Gómez *et al.*, en este vol.), de las cuales sólo un porcentaje pequeño ha sido estudiada desde una perspectiva genética. Los estudios sobre la diversidad genética de mamíferos iniciaron con los estudios sobre el cariotipo y la variación cromosómica de roedores del estado (Patton, 1969). Estos primeros trabajos identificaron poblaciones con diferente cariotipo y los mecanismos (fusiones e inversiones) que generan la diversidad en el número y morfología de los cromosomas. Más recientemente, los estudios han usado secuencias de nucleótidos para abordar problemas filogeográficos (Riddle *et al.*, 2000c). A la fecha se tienen registrados estudios sobre 13 especies, la gran mayoría de ellos con roedores y sólo una especie del orden Chiroptera y dos de los ordenes Artiodactyla y Carnívora (tabla 8).

La evolución de la pigmentación críptica en mamíferos es un proceso de adaptación al ambiente local en el que la selección natural juega un papel muy importante (Hoekstra, 2006). *Chaetodipus intermedius* es un roedor que se distribuye en hábitats rocosos de los desiertos Sonorenses y Chihua-

huense que muestra una gran variación en la pigmentación del pelaje dorsal. En los lugares donde las rocas son claras (*v.g.*, granito) el color del pelo es claro, mientras que en hábitats donde las rocas son de origen volcánico, como en el escudo volcánico del Pinacate en el noroeste de Sonora, el color del pelo es oscuro (Hoekstra *et al.*, 2005). Los estudios sobre la base genética de la pigmentación del pelo de este roedor han permitido identificar las sustituciones de aminoácidos responsables de este polimorfismo (Nachman *et al.*, 2003). Los datos sobre la distribución de la variación fenotípica muestran una correlación sorprendente entre la pigmentación del pelo de la región dorsal y el color de la roca donde habita este roedor y esta relación es independiente de su historia filogenética (Hoekstra *et al.*, 2005). La evidencia disponible indica que la selección natural juega un papel muy importante en el proceso de adaptación al tipo de roca, ya que los colores crípticos reducen el riesgo de depredación (Hoekstra *et al.*, 2005). A pesar de que la migración reduce la divergencia entre poblaciones que habitan en sitios con diferente color

Tabla 8. Estudios sobre la diversidad y estructura genética de mamíferos del estado de Sonora

Orden	Especie	Marcador molecular	Referencia
Rodentia	<i>Perognathus goldmani</i>	Cariotipo	Patton, 1969
Rodentia	<i>Thomomys bottae</i>	Cariotipo, Aloenzimas	Patton, 1972; Patton y Yang, 1977
Rodentia	<i>Peromyscus eremicus</i>	Aloenzimas, secuencias de ADN mitocondrial (COIII)	Avise <i>et al.</i> , 1974; Riddle <i>et al.</i> , 2000a
Rodentia	<i>Peromyscus merriami</i>	Aloenzimas, secuencias de ADN mitocondrial (COIII)	Avise <i>et al.</i> , 1974; Riddle <i>et al.</i> , 2000a
Rodentia	<i>Onychomys torridus</i>	ADN mitocondrial (enzimas de restricción)	Riddle y Honeycutt, 1990
Rodentia	<i>Chaetodipus penicillatus</i>	ADN mitocondrial (enzimas de restricción)	Lee <i>et al.</i> , 1996
Rodentia	<i>Chaetodipus baileyi</i>	Secuencias de ADN mitocondrial (COIII, citocromo b)	Riddle <i>et al.</i> , 2000b
Rodentia	<i>Chaetodipus intermedius</i>	Color de pelo, secuencias de ADN mitocondrial (COIII, ND3)	Hoekstra <i>et al.</i> , 2005
Chiroptera	<i>Leptonycteris curasoae</i>	Secuencias de ADN mitocondrial	Wilkinson y Fleming, 1996
Artiodactyla	<i>Ovis canadensis</i>	Aloenzimas, microsatélites, complejo de histocompatibilidad (MHC)	Jessup y Ramey II, 1995; Hedrick <i>et al.</i> , 2001; Gutiérrez-Espeleta <i>et al.</i> , 2000 y 2001
Artiodactyla	<i>Antilocapra americana</i>	ADN mitocondrial, microsatélites	Stephen <i>et al.</i> , 2005
Carnívora	<i>Canis lupus</i>	Microsatélites, complejo de histocompatibilidad (MHC).	García-Moreno <i>et al.</i> , 1996; Hedrick <i>et al.</i> , 2000
Carnívora	<i>Ursus arctos</i>	Secuencias de ADN mitocondrial.	Miller <i>et al.</i> , 2006

de substrato, los coeficientes de selección son tan grandes que permiten mantener la divergencia fenotípica (Hoekstra *et al.*, 2004). Es así que este roedor representa uno de los ejemplos más sorprendentes de variación en la pigmentación del pelaje y de adaptación de las formas melánicas a las rocas volcánicas.

La deriva genética puede disminuir la variación genética de las poblaciones como consecuencia de eventos de fundador durante la colonización de nuevos hábitats y por la reducción del tamaño efectivo de las poblaciones. La abundancia y el rango de distribución de muchas especies de mamíferos del estado de Sonora se han reducido como consecuencia de diversos factores entre los cuales los antropocéntricos han sido los más importantes. Por ejemplo, el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) tenía una distribución muy amplia en México y Norteamérica a la llegada de los europeos (Medellín *et al.*, 2005). Sin embargo, su abundancia y distribución se redujo considerablemente durante el siglo XX (Medellín *et al.*, 2005). En este contexto, los estudios sobre la estructura genética del borrego cimarrón pueden aportar evidencia útil en al menos dos aspectos. Por un lado, estos estudios pueden explorar si la fragmentación de las poblaciones y la reducción de su abundancia se reflejan en niveles bajos de diversidad genética. Por otra parte, si existen patrones geográficos de variación genética, éstos deben tomarse en cuenta en los programas de introducción a hábitats donde esta especie ha sido extirpada para maximizar el éxito en la adaptación local. Los primeros trabajos que evaluaron los niveles de variación genética, incluyendo individuos de Sonora y otras regiones de su distribución natural, mostraron niveles muy bajos de diversidad, consistente con la hipótesis de que la contracción tuvo un efecto en la variación genética (Jessup y Ramey II, 1995). Sin embargo, el uso de marcadores basados en ADN, como los microsatélites (Gutiérrez-Espeleta *et al.*, 2000) y las secuencias del complejo MHC (Gutiérrez-Espeleta *et al.*, 2001), mostraron que las poblaciones poseen niveles substanciales de variación genética, lo que indica que durante su historia evolutiva reciente

han estado bien conectadas o han mantenido poblaciones grandes (Gutiérrez-Espeleta *et al.*, 2000). Así, los cambios drásticos en su abundancia y distribución aparentemente no han llegado a afectar los niveles de variación genética. Por otra parte, la introducción de individuos a nuevos hábitats puede tener consecuencias en la diversidad genética de las nuevas poblaciones a través de efectos de fundador. En enero de 1975 se capturaron borregos de la sierra Pico de Johnson de la costa de Sonora y se introdujeron cuatro machos y 16 hembras ($n = 20$) a la Isla del Tiburón, donde no existían registros previos de esta especie (Montoya y Gates 1975). Los individuos pudieron reproducirse y la población transplantada a la Isla del Tiburón ha crecido satisfactoriamente y ha sido fuente de individuos para nuevas introducciones a otras localidades de México (Medellín *et al.*, 2005). Dado que estos individuos se están usando para repoblar lugares donde esta especie ha sido extirpada, resulta importante conocer los niveles de variación en la Isla para conocer los posibles efectos de la endogamia. Lo ideal sería comparar los niveles de variación de la Isla (y de los individuos introducidos, ya que se tomaron muestras de sangre; Montoya y Gates, 1975) con las poblaciones de la costa de Sonora para evaluar si la variación genética se ha reducido significativamente. Hedrick *et al.* (2001) usaron muestras de sangre de 14 borregos capturados en la Isla para comparar los niveles de variación en microsatélites y secuencias del gen MHC con los de tres poblaciones de Arizona. Los resultados mostraron una reducción significativa en la diversidad y el número de alelos en la población de la Isla con respecto a los niveles observados en Arizona (Hedrick *et al.*, 2001). Estos datos han sido interpretados como evidencia de que la deriva genética ha afectado a la población de la Isla del Tiburón. De ahí que la recomendación de Hedrick *et al.* (2001) sea usar otros individuos no emparentados en los programas de introducción que usan borregos de la Isla para reducir los riesgos de introducir individuos endogámicos.

El enfoque genético-poblacional aporta elementos importantes para el manejo de especies que han

sido extirpadas de la naturaleza y que se reproducen en cautiverio para programas de reintroducción. El lobo mexicano fue extirpado de México y Estados Unidos durante el siglo xx (Brown, 2002) y no se tienen registros confiables de que todavía existan individuos silvestres en México. Sin embargo, en ambos países existen programas de reproducción en cautiverio que pretenden salvar a esta especie de la extinción. Existen tres linajes de lobos en cautiverio y el análisis del pedigrí ha permitido determinar los coeficientes de consanguinidad de cada linaje y establecer que provienen de sólo siete individuos fundadores (Hedrick *et al.*, 1997). Uno de estos individuos fundadores proviene de la región de Yécora, Sonora, y representa la base del linaje del Museo del Desierto de Arizona (Hedrick *et al.*, 1997). Los estudios con microsatélites (García-Moreno *et al.*, 1996; Hedrick *et al.*, 1997) y el complejo MHC (Hedrick *et al.*, 2000) han permitido establecer la pureza de estos linajes (no hay evidencias de hibridización con coyotes o perros), así como determinar los niveles de variación genética. Estos estudios han permitido sugerir cómo y en qué proporción se deben incorporar individuos de diferente linaje para minimizar las cruza consanguíneas y el riesgo de depresión por endogamia (Hedrick *et al.*, 1997). El desempeño de los lobos en cautiverio no muestra evidencia de depresión por endogamia (Kalinowski *et al.*, 1999). Los tres linajes mantenidos en cautiverio se han empleado en el programa de liberación de lobos en Arizona y Nuevo México (Hedrick *et al.*, 2000 y 2003). Aunque los cachorros que han nacido en estos sitios muestran susceptibilidad a varias enfermedades, no parece existir evidencia de que se deba a la baja variabilidad genética en genes involucrados con el sistema inmune (Hedrick *et al.*, 2003). Es evidente que la extirpación eliminó una porción considerable de la variabilidad genética existente en la región (Leonard, J.A *et al.*, 2005); sin embargo, se tiene esperanza de que la diversidad existente en cautiverio pueda ser suficiente para reintroducir con éxito esta especie a México.

Los estudios filogeográficos realizados en roedores del norte de México han mostrado eviden-

cias de discontinuidades en los grupos filéticos que probablemente reflejan varios eventos de vicarianza en la región. El análisis de secuencias de genes de la mitocondria en *Peromyscus eremicus* y *Chaetodipus baileyi* (Riddle *et al.*, 2000a y 2000b) mostró diferentes linajes separados geográficamente y éstos fueron interpretados como evidencia de eventos de vicarianza en el pasado reciente. Estos datos sugieren que la divergencia entre las poblaciones de Sonora y las de Baja California se debió a la formación del Golfo de California y a la separación de la península hace aproximadamente cinco millones de años (figura 2). De igual forma, bajo esta interpretación, la divergencia entre las poblaciones del Desierto Sonorense y del Desierto Chihuahuense se debe a la fragmentación causada por la emergencia de la Sierra Madre Occidental. Estos mismos patrones de divergencia y estructura filogeográfica se han detectado en otras especies de aves, reptiles y anfibios y parecen indicar que estos eventos de vicarianza histórica afectaron a la mayoría de las especies de la región (Riddle *et al.*, 2000c; Riddle y Hafner, 2006).

Es evidente que nuestro conocimiento sobre la diversidad genética de los mamíferos terrestres es todavía muy limitado. En particular, es necesario el estudio de especies amenazadas o en peligro de extinción como la de los perritos de las praderas o la de felinos como el jaguar. Estos estudios pudieran aportar evidencia útil sobre la migración de felinos o los posibles efectos de la deriva genética en mamíferos cuyas poblaciones se han reducido significativamente, como en el caso de los perritos de las praderas.

CONSIDERACIONES FINALES

En este capítulo hemos recopilado evidencia sobre la diversidad genética de aproximadamente cien especies, lo cual es un número bajo si consideramos la riqueza biológica que se conoce para el estado de Sonora. La evidencia disponible no permite tener conclusiones generales ni inferir un patrón general de variación genética para todas las especies que

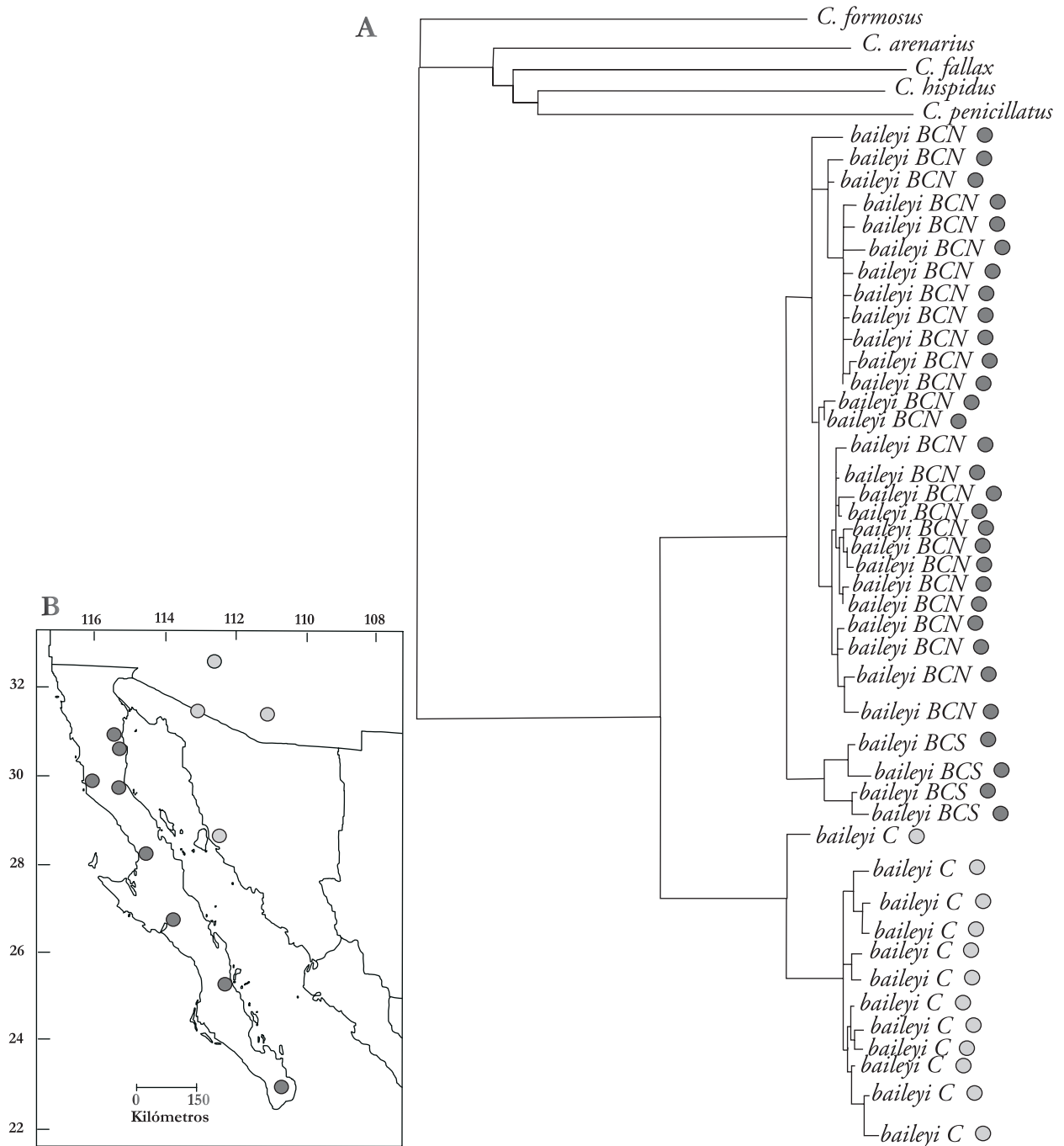


Figura 2. Patrón de variación filogeográfica en el roedor *Chaetodipus baileyi*. A) Arbol filogenético construido usando el método de "Neighbor-joining" de 43 haplotipos de *C. baileyi* y cinco especies de *Chaetodipus* usadas como grupo externo. Los haplotipos de *C. baileyi* se identifican como miembros de los linajes del continente (C, Arizona y Sonora), la región norte de Baja California (BCN) y Baja California Sur (BCS). Nótese la división filogeográfica entre la península de Baja California y el continente. B) Localidades de colectas de *C. baileyi* en el noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos. Datos de Riddle *et al.* (2000b; reproducido con permiso de Brett Riddle y Elsevier).

han sido estudiadas. Sin embargo, es evidente que fenómenos como la formación del Golfo de California o la emergencia de la Sierra Madre Occidental han tenido una fuerte influencia sobre la estructura filogeográfica de muchas especies. Los escasos estudios que han explorado la diversidad genética en especies de plantas de amplia distribución han detectado que existe una asociación entre la variación y la latitud, lo cual se ha interpretado como evidencia de eventos de expansión y contracción de la distribución en respuesta a las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno.

Con respecto a las necesidades de investigación, se requiere el desarrollo de proyectos que consideren la diversidad genética, tanto como la riqueza de especies, en el conocimiento de la biota de Sonora. Los ecosistemas del estado reflejan su carácter transicional y ecotonal entre diversas regiones biogeográficas. Sin embargo, un entendimiento más claro de los patrones evolutivos y biogeográficos podrían obtenerse incorporando la filogeografía y la genética de poblaciones. Se requiere diversificar el uso de marcadores moleculares con el fin de captar la mayor información posible sobre los fenómenos que afectan la estructura genética. En particular, el uso de secuencias permite hacer inferencias más robustas. La incorporación de información genética en sistemas de información geográfica es un campo en pleno desarrollo. En el futuro se podría incorporar a las bases de datos de distribución de especies en el estado información genética que hiciera factible mapear la distribución precisa de haplotipos. Asimismo, se podría visualizar la distribución de las amenazas más serias para la diversidad genética con base en la cartografía existente de las actividades humanas.

La mayor parte de los estudios realizados se han restringido al desierto y es necesario estudiar a las especies de los bosques de pino-encino y de las selvas bajas del sur del estado. Los estudios sobre la diversidad genética de la biota del estado de Sonora sin duda pueden aportar evidencia sobre procesos de adaptación a la heterogeneidad ambiental de la región, así como herramientas útiles para la conservación de las especies amenazadas y en peli-

gro de extinción. Esperamos que en un futuro estos estudios constituyan la base de un mejor entendimiento de los procesos de evolución en esta región de México.

LITERATURA CITADA

- ADEST G.A. 1987. Genetic Differentiation among Populations of the Zebra Tail Lizard, *Callisaurus draconoides* (Sauria: Iguanidae) *Copeia* 1987: 854-859.
- AVISE, J.C. 1998. The History and Purview of Phylogeography: A Personal Reflection. *Molecular Ecology* 7: 371-379.
- AVISE, J.C., J. ARNOLD, R.M. BALL, E. BERMINGHAM, T. LAMB, J.E. NEIGEL, C.A. REEB y N.C. SAUNDERS. 1987. Intraspecific Phylogeography: The Mitochondrial DNA Bridge between Population Genetics and Systematics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 489-522.
- AVISE, J.C., M.H. SMITH, R.K. SELANDER, T.E. LAWLOR y P.R. RAMSEY. 1974. Biochemical Polymorphism and Systematics in the Genus *Peromyscus*. v. Insular and Mainland Species of the Subgenus *Haplomylos*. *Systematic Zoology* 23: 226-238.
- BARBER, P.H. 1999a. Patterns of Gene Flow and Population Genetic Structure in the Canyon Treefrog, *Hyla arenicolor* (Cope) *Molecular Ecology* 8: 563-576.
- BARBER P.H. 1999b. Phylogeography of the Canyon Treefrog, *Hyla arenicolor* (Cope) Based on Mitochondrial DNA Sequence Data. *Molecular Ecology* 8: 547-562.
- BARRAZA-MORALES, A., F.L. SÁNCHEZ-TEYER, M. ROBERT, M. ESQUEDA y A. GARDEA. 2006. Variabilidad genética en *Agave angustifolia* Haw. de la sierra sonorense, México, determinada con marcadores AFLP. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 1-8.
- BELTRÁN, P., G. DELGADO, A. NAVARRO, F. TRUJILLO, R.K. SELANDER y A. CRAVIOTO. 1999. Genetic Diversity and Population Structure of *Vibrio cholerae*. *Journal of Clinical Microbiology* 37: 581-590.
- BILSEL, P.A., J.E. ROWE, W.M. FITCH y S.T. NICHOL. 1990. Phosphoprotein and Nucleocapsid Protein Evolution of Vesicular Stomatitis Virus New Jersey. *Journal of Virology* 64: 2498-2504.
- BRAVO, A., S. SARABIA, L. LÓPEZ, H. ONTIVEROS, C. ABARCA, A. ORTIZ, M. ORTIZ, L. LINA, F.J. VILLALOBOS, G. PEÑA, M.E. NÚÑEZ-VALDEZ, M. SOBERÓN y

- R. QUINTERO. 1998. Characterization of *Cry* Genes in a Mexican *Bacillus thuringiensis* Strain Collection. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 4965-4972.
- BREITMEYER, C.M. y T.A. MARKOW. 1998. Resource Availability and Population Size in Cactophilic *Drosophila*. *Functional Ecology* 12: 14-21.
- BROWN, D.E. 2002. *The Wolf in the Southwest: the Making of an Endangered Species*. High-Lonesome Books, Nuevo México.
- BROWN, J.K. 1998. Diversity and Global Distribution of Whitefly-Transmitted Geminiviruses of Cotton (<http://cals.arizona.edu/pubs/crops/az1006/az100610g.html>) consultada en diciembre de 2006.
- BROWN, J.K., K.M. OSTROW, A.M. IDRIS y D.C. STENGER. 1999. Biotic, Molecular and Phylogenetic Characterization of Bean Calico Mosaic Virus, a Distinct *Begomovirus* Species with Affiliation in the Squash Leaf Curl Virus Cluster. *Phytopathology* 89: 273-280.
- CAMARENA-ROSALES, F., G. RUIZ-CAMPOS, J. DE LA ROSA-VÉLEZ, R. MANDEN, D.A. HENDRICKSON, A. VARELA-ROMERO y F. GARCÍA DE LEÓN. 2008. Mitochondrial Haplotype Variation in Wild Trout Populations (Teleostei: Salmonidae) from Northwest Mexico. *Review in Fish Biology and Fisheries* 18: 33-45.
- CASTOE, T.A., C.L. SPENCER y C.L. PARKINSON. 2007. Phylogeographic Structure and Historical Demography of the Western Diamondback Rattlesnake (*Crotalus atrox*): A Perspective on North American Desert Biogeography. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 42: 193-212.
- CASTREZANA, S. y T.A. MARKOW. 2001. Arthropod Diversity in Necrotic Tissue of Three Species of Columnar Cacti (Cactaceae) *Canadian Entomologist* 133: 301-309.
- CLARK, P.L., J. MOLINA-OCHOA, S. MARTINELLI, S.R. SKODA, D.J. ISENHOUR, D.J. LEE, J.F. KRUMM y J.E. FOSTER. 2006. Population Variation of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the Western Hemisphere. *Journal of Insect Science* 7: 1-10.
- CLARK-TAPIA, R. y F. MOLINA-FREANER. 2003. The Genetic Structure of a Columnar Cactus with a Disjunct Distribution: *Stenocereus gummosus* in the Sonoran Desert. *Heredity* 90: 443-450.
- CLELAND, S., G.D. HOCUTT, C.M. BREITMEYER, T.A. MARKOW y E. PFEILER. 1996. Alcohol Dehydrogenase Polymorphism in Barrel Cactus Populations of *Drosophila mojavensis*. *Genetica* 98: 115-117.
- COMES, H.P. y J.W. KADEREIT. 1998. The Effect of Quaternary Climatic Change on Plant Distribution and Evolution. *Trends in Plant Science* 3: 432-438.
- CREWS, S.C. y HEDIN, M. 2006. Studies of Morphological and Molecular Divergence in Spiders (Araneae: Homalonychus) from the American Southwest, Including Divergence along the Baja California Peninsula. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 38: 470-487.
- CUBETA, M.A. y R. VILGALYS. 1997. Population Biology of the *Rhizoctonia solani* Complex. *Phytopathology* 87: 480-484.
- CUEVAS-GARCÍA, E., D.M. ARIAS, C.A. DOMÍNGUEZ, R.A. CASTILLO y F.E. MOLINA-FREANER. 2006. The Genetic Structure of the Gynodioecious *Kallstroemia grandiflora* (Zygophyllaceae): The Role of Male Sterility and Colonization History. *Heredity* 97: 269-274.
- DEARDOFF, E., J.G. ESTRADA-FRANCO, A.C. BRAULT, R. NAVARRO-LÓPEZ, A. CAMPOMANES-CORTÉS, P. PAZ-RAMÍREZ, M. SOLÍS-HERNÁNDEZ, W.N. RAMEY, C.T. DAVIS, D.W.C. BEASLEY, R.B. TESH, A.D.T. BARRETT y S.C. WEAVER. 2006. Introductions of West Nile Virus Strains to Mexico. *Emerging Infectious Diseases* 12: 314-318.
- DE MATTOS, C.C., C.A. DE MATTOS, E. LOZA-RUBIO, A. AGUILAR-SETIÉN, L.A. ORCIARI y J.S. SMITH. 1999. Molecular Characterization of Rabies Virus Isolates from Mexico: Implications for Transmission Dynamics and Human Risk. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 61: 587-597.
- DEVITT, T.J. 2006. Phylogeography of the Western Lyresnake (*Trimorphodon biscutatus*): Testing Aridland Biogeographical Hypotheses across the Nearctic-Neotropical Transition. *Molecular Ecology* 15: 4387-4407.
- DOUGLAS M.E., M.R. DOUGLAS, G.W. SCHUETT y L.W. PORRAS. 2006. Evolution of Rattlesnakes (Viperidae; *Crotalus*) in the Warm Deserts of Western North America Shaped by Neogene Vicariance and Quaternary Climate Change. *Molecular Ecology* 15: 3353-3374.
- DUBIN, H.J. y E. TORRES. 1981. Causes and Consequences of the 1976-1977 Wheat Leaf Rust Epidemic in Northwest Mexico. *Annual Review of Phytopathology* 19: 41-49.
- EHELLE, R.A. VAN DEN BUSSCHE, T.P. MALLOY JR., M.L. HAYNIE y C.O. MINCKLEY. 2000. Mitochondrial DNA Variation in Pupfishes Assigned to the Species *Cyprinodon macularius* (Atherinomorpha: Cyprinodon-

- tidae): Taxonomic Implications and Conservation Genetics. *Copeia* 2000: 353-364.
- EDWARDS T., C.R. SCHWALBE, D.E. SWANN y C.S. GOLDBERG. 2004. Implications of Anthropogenic Landscape Change on Inter-Population Movements of the Desert Tortoise (*Gopherus agassizii*) *Conservation Genetics* 5: 485-499.
- EDWARDS, T., C.S. GOLDBERG, M.E. KAPLAN, C.R. SCHWALBE y D.E. SWANN. 2006. PCR Primers for Microsatellite Loci in the Desert Tortoise (*Gopherus agassizii*, Testudinidae). *Molecular Ecology Notes* 3: 589-591.
- ELIZONDO-QUIROGA, D., C.T. DAVIS, I. FERNÁNDEZ-SALAS, R. ESCOBAR-LÓPEZ, D. VELASCO O., L.C. SOTO G., M. AVILÉS A., A. ELIZONDO-QUIROGA, J.I. GONZÁLEZ-ROJAS, J.F. CONTRERAS C., H. GUZMÁN, A. TRAVASSOS DA ROSA, B.J. BLITVICH, A.D.T. BARRETT, B.J. BEATY y R.B. TESH. 2005. West Nile Virus Isolation in Human and Mosquitoes, Mexico. *Emerging Infectious Diseases* 11: 1449-1452.
- ELLISEN, W.J. y D.J. CRAWFORD. 1988. Genetic Variation and Differentiation in the Genus *Mabrya* (Scrophulariaceae-Antirrhineae): Systematic and Evolutionary Inferences. *American Journal of Botany* 75: 85-96.
- FEHLBERG, S.D. y T.A. RANKER. 2009. Evolutionary History and Phylogeography of *Encelia farinosa* (Asteraceae) from the Sonoran, Mojave and Peninsular Deserts. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 50: 326-335.
- FROST, D., T. GRANT, J. FAIVOVICH, R. BAIN, A. HAAS, C. HADDAD, R. DE SA, A. CHANNING, M. WILKINSON, S. DONNELLAN, C. RAXWORTHY, J. CAMPBELL, B. BLOTTO, P. MOLER, R.C. DREWES, R. NUSSBAUM, J. LYNCH, D. GREEN y W. WHEELER. 2006. The Amphibian Tree of life. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 297: 1-370.
- FUTUYMA, D.J. 1998. *Evolutionary Biology*. 3a. ed. Sinauer Associates, Sunderland.
- GARCÍA-ARENAL, F., A. FRAILE y J.M. MALPICA. 2001. Variability and Genetic Structure of Plant Virus Populations. *Annual Review of Phytopathology* 39: 157-186.
- GARCÍA-MORENO, J., M.D. MATOCQ, M.S. ROY, E. GEFFEN y R.K. WAYNE. 1996. Relationships and Genetic Purity of the Endangered Mexican Wolf Based on Analysis of Microsatellite loci. *Conservation Biology* 10: 376-389.
- GARRICK, R.C., J.D. NASON, C.A. MEADOWS y R.J. DYER. 2009. Not Just Vicariance: Phylogeography of a Sonoran Desert Euphorb Indicates a Major Role of Range Expansion along the Baja Peninsula. *Molecular Ecology* 18: 1916-1931.
- GASTON, K. J. 2000. Global Patterns in Biodiversity. *Nature* 405: 220-227.
- GERGUS E.W.A, T.W. REEDER y B.K. SULLIVAN. 2004. Geographic Variation in *Hyla wrightorum*: Advertisement Calls, Allozymes, mtDNA, and Morphology. *Copeia* 2000: 758-769.
- GOLDBERG, C.S., B.K. SULLIVAN, J.H. MALONE y C.R. SCHWALBE. 2004. Divergence among Barking Frogs (*Eleutherodactylus augusti*) in the Southwestern United States. *Herpetologica* 60: 312-320.
- GUTIÉRREZ-ESPELETA, G.A., P.W. HEDRICK, S.T. KALINOWSKI, D. GARRIGAN y W.M. BOYCE. 2001. Is the Decline of Desert Bighorn Sheep from Infectious Disease the Result of Low MHC Variation? *Heredity* 86: 439-450.
- GUTIÉRREZ-ESPELETA, G.A., S.T. KALINOWSKI, W.M. BOYCE y P.W. HEDRICK. 2000. Genetic Variation and Population Structure in Desert Bighorn Sheep: Implications for Conservation. *Conservation Genetics* 1: 3-15.
- GUTIÉRREZ-OZUNA, R. 2006. Estructura clonal del zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) en el Noroeste de México. Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Ecología, UNAM. México, 53 p.
- GUTIÉRREZ-RUACHO, O. 2002. Hábitat, microorganismos asociados y variabilidad genética de la población de *Fouquieria columnaris* presente en Punta de Cirio, Sonora. Tesis de maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Hermosillo, Sonora, México, 76 p.
- HALL, R. L. 1973. A Physiological Genetic Study of the Populations of *Idria columnaris* Kellogg of Baja California and Sonora, Mexico. PhD Dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona, 81 p.
- HAMRICK, J.L., J.D. NASON, T.H. FLEMING y J.F. NASSAR. 2002. Genetic Diversity in Columnar Cacti. En: T.H. Fleming y A. Valiente-Banuet, eds. *Columnar Cacti and their Mutualists: Evolution, Ecology and Conservation*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 122-133.
- HART, D.L. y A.G. CLARK. 1989. *Principles of Population Genetics*. 2a. ed. Sinauer Associates, Sunderland.
- HEDRICK, P.W. 2000. *Genetics of Populations*. Jones and Bartlett Publishers, Sudbury.
- HEDRICK, P.W., G.A. GUTIÉRREZ-ESPELETA y R.N. LEE.

2001. Founder Effect on an Island Population of Bighorn Sheep. *Molecular Ecology* 10: 851-857.
- HEDRICK, P.W., P.S. MILLER, E. GEFFEN y R. WAYNE. 1997. Genetic Evaluation of the Three Captive Mexican Wolf Lineages. *Zoo Biology* 16: 47-69.
- HEDRICK, P.W., R.N. LEE y C. BUCHANAN. 2003. Canine Parvovirus Enteritis, Canine Distemper, and Major Histocompatibility Complex Genetic Variation in Mexican Wolves. *Journal of Wildlife Diseases* 39: 909-913.
- HEDRICK, P.W., R.N. LEE y K.M. PARKER. 2000. Major Histocompatibility Complex (MHC) Variation in the Endangered Mexican Wolf and Related Canids. *Heredity* 85: 617-624.
- HEED, W.B. 1978. Ecology and Genetics of Sonoran Desert *Drosophila*. En: P.F. Brussard, ed. *Ecological Genetics: The Interface*. Springer-Verlag, Nueva York, pp. 109-126.
- HEED, W.B. 1982. The Origin of *Drosophila* in the Sonoran Desert. En: J.S.F. Barker y W.T. Starmer, eds. *Ecological Genetics and Evolution: The Cactus-Yeast-Drosophila Model System*. Academic Press, Sydney, pp. 65-80.
- HERNÁNDEZ, A. 1999. Consecuencias genéticas y evolutivas del surgimiento del Golfo de California en poblaciones de *Bursera microphylla* (Burseraceae) en el Desierto Sonorense. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- HERSHLER, R., M. MULVEY y H.P. LIU. 2005. Genetic Variation in the Desert Springsnail (*Tryonia porrecta*): Implications for Reproductive Mode and Dispersal. *Molecular Ecology* 14: 1755-1765.
- HEWITT, G.M. 1996. Some Genetic Consequences of Ice Ages, and their Role in Divergence and Speciation. *Biological Journal of the Linnean Society* 58: 247-276.
- HEWITT, G.M. 2000. The Genetic Legacy of the Quaternary Ice Ages. *Nature* 405: 907-913.
- HOCUTT, G.D. 2000. Reinforcement of Premating Barriers to Reproduction between *Drosophila arizonae* and *Drosophila mojavensis*. Ph.D. Dissertation, Arizona State University, Tempe, Arizona.
- HOEKSTRA, H.E. 2006. Genetics, Development and Evolution of Adaptive Pigmentation in Vertebrates. *Heredity* 97: 222-234.
- HOEKSTRA, H.E., J.G. KRENZ y M.W. NACHMAN. 2005. Local Adaptation in the Rock Pocket Mouse (*Chaetodipus intermedius*): Natural Selection and Phylogenetic History of Populations. *Heredity* 94: 217-228.
- HOEKSTRA, H.E., K.E. DRUMM y N.W. NACHMAN. 2004. Ecological Genetics of Adaptive Color Polymorphism in Pocket Mice: Geographic Variation in Selected and Neutral Genes. *Evolution* 58: 1329-1341.
- HURTADO, L., T. EREZ, S. CASTREZANA y T.A. MARKOW. 2004. Contrasting Population Genetic Patterns and Evolutionary Histories among Sympatric Sonoran Desert Cactophilic *Drosophila*. *Molecular Ecology* 13: 1365-1375.
- JAEGER J.R., B.R. RIDDLE y D.F. BRADFORD. 2005. Cryptic Neogene Vicariance and Quaternary Dispersal of the Red-Spotted Toad (*Bufo punctatus*): Insights on the Evolution of North American Warm Desert Biotas. *Molecular Ecology* 14: 3033-3048.
- JESSUP, D.A. y R.R. RAMEY II. 1995. Genetic Variation of Bighorn Sheep as Measured by Blood Protein Electrophoresis. *Transactions of the Desert Bighorn Council* 39: 17-25.
- JURGENSON, D.E. 1979. A Starch Gel Electrophoresis Study of Several Populations of the Saguaro Cactus (*Carnegiea gigantea*) Master of Science Thesis, University of Arizona, Tucson, Arizona, 84 p.
- KALINOWSKI, S. T., P. W. HEDRICK y P. S. MILLER. 1999. No Inbreeding Depression Observed in Mexican and Red Wolf Captive Breeding Programs. *Conservation Biology* 13: 1371-1377.
- LAMB, T., J.C. AVISE y J.W. GIBBONS. 1989. Phylogeographic Patterns in Mitochondrial DNA of the Desert Tortoise (*Xerobates agassizii*), and Evolutionary Relationships among the North American Gopher Tortoises. *Evolution* 43: 76-87.
- LEE, T.E., B.R. RIDDLE y P.L. LEE. 1996. Speciation in the Desert Pocket Mouse (*Chaetodipus penicillatus* Woodhouse) *Journal of Mammalogy* 77: 58-68.
- LEONARD, J.A., C. VILA y R.K. WAYNE. 2005. Legacy Lost: Genetic Variability and Population Size of Extirpated US Gray Wolves (*Canis lupus*) *Molecular Ecology* 14: 9-17.
- LEONARD, K.J., J. HUERTA-ESPINO y J.J. SALMERÓN. 2005. Virulence of Oat Crown Rust in Mexico. *Plant Disease* 89: 941-948.
- LESLIE J.F. y R.C. Vrijenhoek. 1977. Genetic Analysis of Natural Populations of *Poeciliopsis monacha*: Allozyme Inheritance and Pattern of Mating. *Journal of Heredity* 68: 301-6.
- LEVIN, B.R., M. LIPSITCH y S. BONHOEFFER. 1999. Population Biology, Evolution and Infectious Disease: Convergence and Synthesis. *Science* 283: 806-809.
- LEWONTIN, R.C. 1991. Twenty-Five Years Ago in Genetics: Electrophoresis in the Development of Evo-

- lutionary Genetics, Milestone or Millstone? *Genetics* 128: 657-662.
- LINDELL, J.S., F. MÉNDEZ DE LA CRUZ y R.W. MURPHY. 2005. Deep Genealogical History without Population Differentiation: Discrepancy between mtDNA and Allozyme Divergence in the Zebra-Tailed Lizard (*Callisaurus draconoides*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 36: 682-694.
- LOAIZA-FIGUEROA, F., K. RITLAND, J.A. LABORDE-CANCINO y S.D. TANKSLEY. 1989. Patterns of Genetic Variation of the Genus *Capsicum* (Solanaceae) in Mexico. *Plant Systematics and Evolution* 165: 159-188.
- MACHADO, C.A., L.M. MATZKIN, L.K. REED y T.A. MARKOW. 2007. Multilocus Nuclear Sequences Reveal Intra and Interspecific Relationships among Chromosomally Polymorphic Species of cactophilic *Drosophila*. *Molecular Ecology* 16: 3009-3024.
- MACÍAS, M.J., G. YÉPIZ-PLASCENCIA, F. OSORIO, A. PINELLI-SAAVEDRA, J. REYES-LEYVA y J. HERNÁNDEZ. 2006. Aislamiento y caracterización del gen ORF5 del virus del síndrome reproductivo y respiratorio porcino (PRRS) en México. *Veterinaria México* 37: 197-208.
- MARKOW, T.A., S. CASTREZANA y E. PFEILER. 2002. Flies across the Water: Genetic Differentiation and Reproductive Isolation in Allopatric Desert *Drosophila*. *Evolution* 56: 546-552.
- MARKOW, T.A. y S. CASTREZANA. 2000. Dispersal in cactophilic *Drosophila*. *Oikos* 89: 378-386.
- MARTÍNEZ, F.H., G.C. VILLALOBOS, A.M. CEVALLOS, P. DE LA TORRE, J.P. LACLETTE, R. ALEJANDRE-AGUILAR y B. ESPINOZA. 2006. Taxonomic Study of the *Phyllosoma* complex and other Triatomine (Insecta: Hemiptera: Reduviidae) Species of Epidemiological Importance in the Transmission of Chagas Disease: Using ITS-2 and mtCytB Sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 41: 279-287.
- MARTÍNEZ, F.H., R. ALEJANDRE-AGUILAR, Y.H. MONCADA y B. ESPINOZA. 2005. Molecular Taxonomic Study of Chagas Disease Vectors from the *phyllosoma*, *lecticularia*, and *rubrofasciata* complexes. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 73: 321-325.
- MASTA, S.E. 2000. Phylogeography of the Jumping Spider *Habronattus pugillis* (Araneae: Salticidae): Recent Vicariance of Sky Island Populations? *Evolution* 54: 1699-1711.
- MATEOS, M., O.I. SANJUR y R.C. VRIJENHOEK. 2002. Historical Biogeography of the Fish Genus *Poeciliopsis* (Cyprinodontiformes) *Evolution* 56: 972-984.
- MATEOS, M. y R.C. VRIJENHOEK. 2002. Ancient versus Reticulate Origin of Hemiclonal Lineage. *Evolution* 56: 972-984.
- MATZKIN, L.M. 2004. Population Genetics and Geographic Variation of Alcoholdehydrogenase (*Adh*) Paralogs and Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase (*G6pd*) in *Drosophila mojavensis*. *Molecular Biology and Evolution* 21: 276-285.
- MATZKIN, L.M. y W.F. EANES. 2003. Sequence Variation of Alcohol Dehydrogenase (*Adh*) Paralogs in Cactophilic *Drosophila*. *Genetics* 163: 181-194.
- MCALILEY, L.R., R.E. WILLIS, M.R.J. FORSTNER, T. GUERRA y L.D. DENSMORE. 2006. Eight Microsatellite Markers for the San Esteban Chuckwalla, *Sauromalus varius*. *Molecular Ecology Notes* 6: 759-761.
- MACARTHUR, R.H. y E.O. WILSON. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
- MCDONALD, B.A. y C. LINDE. 2002. Pathogen Population Genetics, Evolutionary Potential, and Durable Resistance. *Annual Review of Phytopathology* 40: 349-379.
- MAYNARD-SMITH, J., E.J. FEIL y N.H. SMITH. 2000. Population Structure and Evolutionary Dynamics of Pathogenic Bacteria. *BioEssays* 22: 1115-1122.
- MEDELLÍN, R.A., C. MANTEROLA, M. VALDEZ, D.G. HEWITT, D. DOAN-CRIDER y T.E. FULLBRIGHT. 2005. History, Ecology, and Conservation of the Pronghorn Antelope, Bighorn Sheep, and Black Bear in Mexico. En: J.-L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 387-404.
- MEFFE, G.K. y R.C. VRIJENHOEK. 1988. Conservation Genetics in the Management of Desert Fishes. *Conservation Biology* 2: 157-169.
- MEFFE, G.K. y VRIJENHOEK, R.C. 1981. Starvation Stress and Intraovarian Cannibalism in Livebearers (Atheriniformes: Peciliidae) *Copeia* 1981: 702-705.
- MERRILL, S.A., F.B. RAMBERG y H.H. HAGEDORN. 2005. Phylogeography and Population Structure of *Aedes aegypti* in Arizona. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 72: 304-310.
- MEZA-MOLLER, A. 2006. Variabilidad morfológica, fisiológica y genética de *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, aislado de viñedos de Sonora. Tesis de doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México, 76 p.

- MILLER, C.R., L.P. WAITS y P. JOYCE. 2006. Phylogeography and Mitochondrial Diversity of Extirpated Brown Bear (*Ursus arctos*) Populations in the Contiguous United States and Mexico. *Molecular Ecology* 15: 4477-4485.
- MILLER, R.R. y R.J. SCHULTZ. 1959. All-Female Strains of the Teleost Fishes of the Genus *Poeciliopsis*. *Science* 130: 1656-1657.
- MOCK, K.E., T.C. THEIMER, O.E. RHODES JR., D.L. GREENBERG y P. KEIM. 2002. Genetic Variation across the Historical Range of the Wild Turkey (*Meleagris gallopavo*) *Molecular Ecology* 11: 643-657.
- MONTOYA, B. y G. GATES. 1975. Bighorn Capture and Transplant in Mexico. *Transaction of the Desert Bighorn Council* 19: 28-32.
- MORALES-NIETO, C., A. QUERO-CARRILLO, O. LEBLANC, A. HERNÁNDEZ-GARAY, J. PÉREZ-PÉREZ y S. GONZÁLEZ-MUÑOZ. 2006. Caracterización de la diversidad del pasto nativo *Bouteloua curtipendula* Michx. Torr. mediante marcadores de AFLP. *Agrociencia* 40: 711-720.
- MORENO-SALAZAR, S. 2006. Variabilidad citogenética, molecular, morfológica y contenido de azúcares reductores totales en poblaciones silvestres de *Agave angustifolia*. Tesis de doctorado, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Hermosillo, Sonora, México, 66 p.
- MOYA, A., E.C. HOLMES y F. GONZÁLEZ-CANDELAS. 2004. The Population Genetics and Evolutionary Epidemiology of RNA Viruses. *Nature Reviews Microbiology* 2: 279-288.
- MULCAHY D.G., A.W. SPAULDING, J.R. MENDELSON y E.D. BRODIE. 2006. Phylogeography of the Flat-Tailed Horned Lizard (*Phrynosoma mcallii*) and Systematics of the *P. mcallii-platyrhinos* mtDNA complex. *Molecular Ecology* 15: 1807-1826.
- MURPHY, R.W. y G. AGUIRRE-LEÓN. 2002. The Non-Avian Reptiles: Origins and Evolution. En: T.J. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra, eds. *A New Island Biogeography of the Sea of Cortés*. Oxford University Press, cap. 8., pp. 181-220.
- NACHMAN, M.W., H.E. HOEKSTRA y S.D'AGOSTINO. 2003. The Genetic Basis of Adaptive Melanism in Pocket Mice. *Proceedings of the National Academy of Science* 100: 5268-5273.
- NASON, J.D., J.L. HAMRICK y T.H. FLEMING. 2002. Historical Vicariance and Postglacial Colonization Effects on the Evolution of the Genetic Structure in *Lophocereus*, a Sonoran Desert columnar Cactus. *Evolution* 56: 2214-2226.
- NAVARRO-QUESADA, A., R. GONZÁLEZ-CHAUVET, F.E. MOLINA-FREANER y L.E. EGUIARTE. 2003. Genetic Differentiation in the *Agave deserti* (Agavaceae) complex of the Sonoran Desert. *Heredity* 90: 220-227.
- NICHOL, S.T. 1987. Molecular Epizootiology and Evolution of Vesicular Stomatitis Virus New Jersey. *Journal of Virology* 61: 1029-1036.
- NIENSEN, J.L. 1996. Using Mitochondrial and Nuclear DNA to Separate Hatchery and Wild Stocks of Rainbow Trout in California and Mexico. En: E.M. Donaldson y D.D. MacKinlay, eds. *Aquaculture Biodiversity Symposium Proceedings, International Congress on the Biology of Fishes*, July 14-18. San Francisco, California, pp. 139-147.
- NIENSEN, J.L. 1997. Molecular Genetics and Evolutionary Status of the Trout of the Sierra Madre. En: R.E. Gresswell, P. Dwyer y R.H. Hamre, eds. *Wild Trout VI: Putting the Native Back in Wild Trout*. Montana State University, Bozeman, Montana, pp. 103-109.
- NIENSEN, J.L., M.C. FOUNTAIN, J. CAMPOY-FAVELA, K. COBBLE y B.L. JENSEN. 1998. *Oncorhynchus* at the Southern Extent of their Range: A Study of mtDNA Control-Region Sequence with Special Reference to an Undescribed Subspecies of *O. mykiss* from Mexico. *Environmental Biology of Fishes* 51: 7-23.
- NIENSEN, J.L., M.C. FOUNTAIN y J.M. WRIGHT. 1997. Biogeographic Analysis of Pacific Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in California and Mexico Based on Mitochondrial DNA and Nuclear Microsatellites. En: T.D. Kocher y C.A. Stepien, eds. *Molecular Systematics of Fishes*. Academic Press, San Diego, California, pp. 53-73.
- NIENSEN, J. L. y K. SAGE. 2001. Microsatellite Analyses of the Trout of Northwest Mexico. *Genetica* 111: 269-278.
- NOSS, R.F. 1990. Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach. *Conservation Biology* 4: 355-364.
- NÚÑEZ-FARFÁN, J., C.A. DOMÍNGUEZ, L.E. EGUIARTE, A. CORNEJO, M. QUIJANO, J. VARGAS y R. DIRZO. 2002. Genetic Divergence among Mexican Populations of Red Mangrove (*Rhizophora mangle*): Geographic and Historic Effects. *Evolutionary Ecology Research* 4: 1049-1064.
- PAREDES G., E.A., J. VALDEZ-MIRANDA, B. NOGUEDA-TORRES, R. ALEJANDRE-AGUILAR y R. CANETT-ROMERO. 2001. Vectorial Importance of Triatominae bugs (Hemiptera: Reduviidae) in Guaymas, Mexico.

- Revista Latinoamericana de Microbiología* 43: 119-122.
- PATTON, J.L. 1969. Chromosome Evolution in the Pocket Mouse, *Perognathus goldmani* Osgood. *Evolution* 23: 645-662.
- PATTON, J.L. 1972. Patterns of Geographic Variation in Karyotype in the Pocket Gopher, *Thomomys bottae* (Eyedoux and Gervais) *Evolution* 26: 574-586.
- PATTON, J.L. y S.Y. YANG. 1977. Genetic Variation in *Thomomys bottae* Pocket Gophers: Macrogeographical Patterns. *Evolution* 31: 697-720.
- PAULY, G.B., D.M. HILLIS y D.C. CANNATELLA. 2004. The History of a Nearctic Colonization: Molecular Phylogenetics and Biogeography of the Nearctic Toads (*Bufo*). *Evolution* 11: 2517-2535.
- PÉREZ-LOSADA, M., E.B. BROWNE, A. MADSEN, T. WHIRTH, R.P. VISCIDI y K.A. CRANDALL. 2006. Population Genetics of Microbial Pathogens Estimated from Multilocus Sequence Typing (MLST) Data. *Infection, Genetics and Evolution* 6: 97-112.
- PETERSON, A.T. y A.G. NAVARRO. 1999. Alternate Species Concepts as Bases for Determining Priority Conservation Areas. *Conservation Biology* 13: 427-431.
- PETREN, K. y T.J. CASE. 1997. A Phylogenetic Analysis of Body Size Evolution in Chuckwallas (*Sauromalus*) and Other Iguanines. *Evolution* 51: 206-219.
- PETREN, K. y T.J. CASE. 2002. An Updated mtDNA Phylogeny for *Sauromalus* and Implications for the Evolution of Gigantism. En: T.J. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra eds. *Island Biogeography in the Sea of Cortés*. 2a. ed. University California Press, Berkeley.
- PFEILER, E., B.G. BITLER, J.M. RAMSEY, C. PALACIOS-CARDIEL y T.A. MARKOW. 2006. Genetic Variation, Population Structure and Phylogenetic Relationships of *Triatoma rubida* and *T. recurva* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) from the Sonoran Desert, Insect Vectors of the Chagas' Disease Parasite *Trypanosoma cruzi*. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 41: 209-221.
- PFEILER, E., L.K. REED y T.A. MARKOW. 2005. Inhibition of Alcohol Dehydrogenase after 2-Propanol Exposure in Different Geographic Races of *Drosophila mojavensis*: Lack of Evidence for Selection at the *Adh-2* Locus. *Journal of Experimental Zoology* 304B: 159-168.
- PFEILER, E. y T.A. MARKOW. 2001. Ecology and Population Genetics of Sonoran Desert *Drosophila*. *Molecular Ecology* 10: 1787-1791.
- PROUDFOOT, G.A., R.L. HONEYCUTT y R.D. SLACK. 2006. Mitochondrial DNA Variation and Phylogeography of the Ferruginous Pygmy-Owl (*Glaucidium brasilianum*) *Conservation Genetics* 7: 1-12.
- PURVIS, A. y A. HECTOR. 2000. Getting the Measure of Biodiversity. *Nature* 405: 212-219.
- QUATTRO, J.M., J.C. AVISE y R.C. VRIJENHOEK. 1991. Molecular Evidence for Multiple Origins of Hybridogenetic Fish Clones (Poeciliidae: *Poeciliopsis*) *Genetics* 127: 391-398.
- QUATTRO, J.M., J.C. AVISE y R.C. VRIJENHOEK. 1992. Mode of Origin and Sources of Genotypic Diversity in Triploid Gynogenetic Fish Clones (*Poeciliopsis*: Poeciliidae) *Genetics* 130: 621-628.
- QUATTRO, J.M., P.L. LEBERG, M.E. DOUGLAS y R.C. VRIJENHOEK. 1996. Molecular Evidence for a Unique Evolutionary Lineage of Endangered Sonoran Desert Fish (Genus *Poeciliopsis*) *Conservation Biology* 10: 128-135.
- QUIJADA-MASCAREÑAS, A., J.E. FERGUSON, C.E. POOK, M.G. SALOMÁO, R.S. THORPE y W. WÜSTER. 2007. Phylogeographic Patterns of Trans-Amazonian Vicariants and Amazonian Biogeography: The Neotropical Rattlesnake (*Crotalus durissus* complex) as an Example. *Journal of Biogeography* 34.
- RADTKEY, R.R., S.M. FALLON y T.J. CASE. 1997. Character Displacement in Some *Cnemidophorus* lizards revisited: A Phylogenetic Analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 94: 9740-9745.
- RAVEL, S., N. MONTENY, D. VELASCO OLMOS, J. ESCALANTE VERDUGO y G. CUNY. 2001. A Preliminary Study of the Population genetics of *Aedes aegypti* (Diptera; Culicidae) from Mexico Using Microsatellite and ALFP Markers. *Acta Tropica* 78: 241-250.
- REED, L.K., M. NYBOER y T.A. MARKOW. 2007. Evolutionary Relationships of *Drosophila mojavensis* Geographic Host races and their Sister Species *Drosophila arizonae*. *Molecular Ecology* 16: 1007-1022.
- REEDER, T.W. y R.R. MONTANUCCI. 2001. Phylogenetic Analysis of the Horned Lizards (Phrynosomatidae: *Phrynosoma*): Evidence from Mitochondrial DNA and Morphology. *Copeia* 2001: 309-323.
- REMINGTON, C.L. 1968. Suture-Zones of Hybrid Interaction between Recently Joined Biotas. En: T. Dobzhansky, M.K. Hecht y W.C. Steere, eds. *Evolutionary Biology*. Appleton-Century-Crofts, Nueva York, pp. 321-428.
- RICHARDSON, R.H., P.E. SMOUSE y M.E. RICHARDSON. 1977. Patterns of Molecular Variation. II. Association of Electrophoretic Mobility and Larval Substrate within Species of the *Drosophila mulleri* com-

- plex. *Genetics* 85: 141-154.
- RIDDLE, B.R., D.J. HAFNER y L.F. ALEXANDER. 2000a. Phylogeography and Systematics of the *Peromyscus eremicus* Species Group and the Historical Biogeography of North American Warm Regional Deserts. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 17: 145-160.
- RIDDLE, B.R., D.J. HAFNER y L.F. ALEXANDER. 2000b. Comparative Phylogeography of Baileys' Pocket Mouse (*Chaetodipus baileyi*) and the *Peromyscus eremicus* Species Group: Historical Vicariance of the Baja California Peninsular Desert. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 17: 161-172.
- RIDDLE, B.R., D.J. HAFNER, L.F. ALEXANDER y J.R. JAEGER. 2000c. Cryptic Vicariance in the Historical Assembly of a Baja California Peninsular Desert Biota. *Proceedings of the National Academy of Science* 97: 14438-14443.
- RIDDLE, B.R. y D.J. HAFNER. 2006. A Step-Wise Approach to Integrating Phylogeographic and Phylogenetic Biogeographic Perspectives on the History of a Core North American Warm Desert Biota. *Journal of Arid Environments* 66: 435-461.
- RIDDLE, B.R. y R.L. HONEYCUTT. 1990. Historical Biogeography in North American Arid Regions: An Approach Using Mitochondrial-DNA Phylogeny in Grasshopper Mice (genus *Onychomys*). *Evolution* 44: 1-15.
- ROCKWOOD-SLUSS, E.S., J.S. JOHNSTON y W.B. HEED. 1973. Allozyme Genotype-Environment Relationships. I. Variation in Natural Populations of *Drosophila pachea*. *Genetics* 73: 135-146.
- ROJAS-SOTO, O. 2003. Geographic Variation of the Curve-Billed Thrasher (*Toxostoma curvirostre*) complex. *Auk* 120: 311-322.
- ROJAS-SOTO, O., A. ESPINOSA DE LOS MONTEROS y R.M. ZINK. 2007. Phylogeography and Patterns of Differentiation in the Curve-Billed Thrasher. *Condor* 109: 456-463.
- ROSS, C.L. y T.A. MARKOW. 2006. Microsatellite Variation among Diverging Populations of *Drosophila mojavensis*. *Journal of Evolutionary Biology* 19: 1691-1700.
- SCHENCK, R.A. y R.C. VRIJENHOEK. 1989. Coexistence among Sexual and Asexual *Poeciliopsis*: Foraging Behaviour and Microhabitat Selection. En: R.M. Dawley y J.P.L. Bogart, eds. *Evolution and Ecology of Unisexual Fishes. Bulletin 466*. New York State Museum, Albany, Nueva York, pp. 39-48.
- SCHLÖTTERER, C. 2004. The Evolution of Molecular Markers. Just a Matter of Fashion? *Nature Reviews Genetics* 5: 63-69.
- SCHULTE, J.A., J.R. MACEY y T.J. PAPENFUSS. 2006. A Genetic Perspective on the Geographic Association of Taxa among Arid North American Lizards of the *Sceloporus magister* complex (Squamata: Iguanidae: Phrynosomatinae) *Molecular Phylogenetics and Evolution* 39: 873-880.
- SHAFFER, H.B. 1983. Biosystematics of *Ambystoma rosaceum* and *A. tigrinum* in Northwestern Mexico. *Copeia* 1983: 67-78.
- SINCLAIR, E.A., R.L. BEZY, K. BOLLES, J.L. CAMARILLO, K.A. CRANDALL y J.W. SITES. 2004. Testing Species Boundaries in an Ancient Species Complex with Deep Phylogeographic History: Genus *Xantusia* (Squamata: Xantusiidae) *The American Naturalist* 164: 396-414.
- SLUSS, E.S. 1975. Enzyme Variability in Natural Populations of Two Species of Cactophilic *Drosophila*. Ph.D. dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- SMITH, C.I. y B.D. FARRELL. 2005. Range Expansions in the Flightless Longhorn Cactus Beetles, *Moneilema gigas* and *Moneilema armatum*, in Response to Pleistocene Climate Changes. *Molecular Ecology* 14: 1025-1044.
- SPRATT, B.G. y M.C.J. MAIDEN. 1999. Bacterial Population Genetics, Evolution and Epidemiology. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 354: 701-710.
- STEPHEN, C.L., J.C. DEVOS JR., T.E. LEE JR., J.W. BICKHAM, J.R. HEFFELFINGER y O.E. RHODES JR. 2005. Population Genetic Analysis of Sonoran Pronghorn (*Antilocapra americana sonoriensis*) *Journal of Mammalogy* 86: 782-792.
- STORFER, A., S.G. MECH, M.W. REUDINK, R.E. ZIEMBA, J. WARREN y J.P. COLLINS. 2004. Evidence for introgression in the endangered Sonora tiger salamander, *Ambystoma tigrinum stebbinsi* (Lowe) *Copeia*: 783-796.
- SWENSON, N.G. y D.J. HOWARD. 2005. Clustering of Contact Zones, Hybrid Zones, and Phylogeographic Breaks in North America. *The American Naturalist* 166: 581-591.
- TEMPLETON, A.R. 2004. Statistical Phylogeography: Methods for Evaluating and Minimizing Inference Errors. *Molecular Ecology* 13: 789-809.
- TREPANIER, T.L. y R.W. MURPHY. 2001. The Coachella Valley Fringetoe Lizard (*Uma inornata*): Genetic Diversity and Phylogenetic Relationships of an Endangered Species. *Molecular Phylogenetics and Evolution*

- lution 18: 327-334.
- TURNER, B.J. 1983. Genic Variation and Differentiation of Remnant Natural Populations of the Desert Pupfish, *C. macularius*. *Evolution* 37: 690-700.
- UPTON, D.E. y R.W. MURPHY. 1997. Phylogeny of the Side-Blotched Lizards (Phrynosomatidae: *Uta*) Based on mtDNA Sequences: support for a Midpeninsular Seaway in Baja California. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 8: 104-113.
- VAN DEVENDER, T.R. 1990. Late Quaternary Vegetation and Climate of the Sonoran Desert, United States and Mexico. En: J.L. Betancourt, T.R. Van Devender y P.S. Martin, eds. *Packrat middens. The Last 40 000 Years of Biotic Change*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 134-165.
- VARELA-ROMERO, A. 2007. Variación genética mitocondrial en bagres del género *Ictalurus* (*Pisces: Ictaluridae*) en el noroeste de México. Tesis de doctorado. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México.
- VARELA-ROMERO, A., D.A. HENDRICKSON, G. YÉPIZ-PLASCENCIA, J.E. BROOKS, D.A. NELLY s.f. Current Conservation Status of the Yaqui Catfish (*Ictalurus pricei*) in the United States en Northwest Mexico. *The Southwestern Naturalist* (en prensa).
- VARGAS, J. 2000. Impacto de la formación de la península de Baja California sobre la estructura genética de *Bursera hindsiana*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- VELASCO-VILLA, A., M. GÓMEZ-SIERRA, G. HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, V. JUÁREZ-ISLAS, A. MELÉNDEZ-FÉLIX, F. VARGAS-PINTO, O. VELÁSQUEZ-MONROY y A. FLISSER. 2002. Antigenic Diversity and Distribution of Rabies Virus in México. *Journal of Clinical Microbiology* 40: 951-958.
- VELLEND, M. 2003. Island Biogeography of Genes and Species. *The American Naturalist* 162: 358-365.
- VELLEND, M. 2005. Species Diversity and Genetic Diversity: Parallel Processes and Correlated Patterns. *The American Naturalist* 166: 199-215.
- VOTAVA, E.J., G.P. NABHAN y P.W. BOSLAND. 2002. Genetic Diversity and Similarity Revealed via Molecular Analysis among and within an *in situ* Population and *ex situ* Accessions of Chiltepin (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) *Conservation Genetics* 3: 123-129.
- VRIJENHOEK, C.R. s/f. Unisexual Fish Bibliography (<http://www.mbari.org/staff/vrijen/unibib.htm>) consultada en marzo de 2007.
- VRIJENHOEK, R.C. 1978. Coexistence of Clones in Heterogeneous Environment. *Science* 199: 549-552.
- VRIJENHOEK, R.C. 1979. Factors Affecting Clonal Diversity and Coexistence. *American Zoologist* 19: 787-797.
- VRIJENHOEK, R.C. 1994. Unisexual Fish: Model Systems for Studying Ecology and Evolution. *Annual Reviews in Ecology and Systematics* 25: 71-96.
- VRIJENHOEK, R.C. 1995. Conservation Genetics of North American Desert Fishes. En: J.C. Avise y J.L. Hamrick, eds. *Population Genetics of Rare and Endangered Species*. Chapman and Hall, Nueva York, pp. 69-80.
- VRIJENHOEK, R.C. 1998a. Conservation Genetics of Freshwater Fish. *Journal of Fish Biology* 53: 394-412.
- VRIJENHOEK, R.C. 1998b. Animal Clones and Diversity. *BioScience* 48: 614-628.
- VRIJENHOEK, R.C., M.E DOUGLAS y G.K. MEFFE. 1985. Conservation Genetics of Endangered Fish Populations in Arizona. *Science* 229: 400-402.
- VRIJENHOEK, R.C., R.A. ANGUS y R. JACK SCHULTZ. 1978. Variation and Clonal Structure in a Unisexual Fish. *The American Naturalist* 112: 41-55.
- WARD, B.L., W.T. STARMER, J.S. RUSSELL y W.B. HEED. 1974. The Correlation of Climate and Host Plant Morphology with a Geographic Gradient of an Inversion Polymorphism in *Drosophila packea*. *Evolution* 28: 565-575.
- WIENS, J.J. y T.A. PENKROT. 2002. Delimiting Species Using DNA and Morphological Variation and Discordant Species Limits in Spiny Lizards (*Sceloporus*) *Systematic Biology* 51: 69-91.
- WILGENBUSCH, J. y K. DE QUEIROZ. 2000. Phylogenetic Relationships among the Phrynosomatid Sand Lizards Inferred from Mitochondrial DNA Sequences Generated by Heterogeneous Evolutionary Processes. *Systematic Biology* 49: 592-612.
- WILKINSON, G.S. y T.H. FLEMING. 1996. Migration and Evolution of Lesser Long-Nosed Bats *Leptonycteris curasoae*, Inferred from Mitochondrial DNA. *Molecular Ecology* 5: 329-339.
- WRIGHT, S. 1940. Breeding Structure of Populations in Relation to Speciation. *American Naturalist* 74: 232-248.
- WÜSTER, W., J.E. FERGUSON, A. QUIJADA-MASCAREÑAS, C.E. POOK, M.G. SALOMÃO y R.S. THORPE. 2005. Tracing an Invasion: Landbridges, Refugia and the Phylogeography of the Neotropical Rattlesnake (Serpentes: Viperidae: *Crotalus durissus*) *Molecular Ecology* 14: 1095-1108.

- ZALDÍVAR-RIVERÓN A, V. LEÓN-REGAGNON y A. NIETO-MONTES DE OCA. 2004. Phylogeny of the Mexican Coastal Leopard Frogs of the *Rana berlandieri* Group Based on mtDNA Sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 30: 38-49.
- ZINK, R.M., A.E. KESSEN, T.V. LINE y R. BLACKWELL-RAGO. 2001. Comparative Phylogeography of Some Aridland Bird Species. *Condor* 103: 1-10.
- ZINK, R.M., D.L. DITTMANN, J. KLICKA y R.C. BLACKWELL. 1999. Evolutionary Patterns of Morphometrics, Allozymes and Mitochondrial DNA in Thrashers (Genus *Toxostoma*) *Auk* 116: 1021-1038.
- ZINK, R.M., J.D. RISING, S. MOCKFORD, A.G. HORN, J.M. WRIGHT, M. LEONARD y M.C. WESTBERG. 2005. Mitochondrial DNA variation, Species Limits, and Rapid Evolution of Plumage Coloration and Size in the Savannah Sparrow. *Condor* 107: 21-28.
- ZINK, R.M., R. BLACKWELL-RAGO y O. ROJAS-SOTO. 1997. Species Limits in the Le Conte's Thrasher. *Condor* 99: 132-138.
- ZINK, R.M. y R.C. BLACKWELL-RAGO. 2000. Species Limits and Population History in the Curve-Billed Thrasher. *Condor* 102: 881-886.
- ZOUROS, E. 1973. Genic Differentiation Associated with the Early Stages of Speciation in the *mulleri* Subgroup of *Drosophila*. *Evolution* 27: 601-621.

LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES: UN DIVERSO CAPITAL NATURAL

ANGELINA MARTÍNEZ-YRÍZAR,¹ RICHARD S. FELGER² Y ALBERTO BÚRQUEZ¹

RESUMEN. Los ecosistemas de Sonora forman un continuo de variación ecológica desde la costa árida del alto Golfo de California hasta las montañas frías y húmedas en lo alto de la Sierra Madre Occidental. Incluyen una multitud de tipos de vegetación, ecotonos y alta diversidad relacionados con la gran variabilidad climática, edáfica y topográfica de la región; desde los manglares, dos tipos de matorral espinoso y el Desierto Sonorense, con cuatro de sus siete subdivisiones, al bosque tropical caducifolio, los pastizales, los encinares y los bosques de pino-encino y mixtos de coníferas en las áreas de mayor elevación. Estos ecosistemas proveen de bienes y servicios a la sociedad, cuyo valor no es difícil de apreciar, pero en realidad es infinito. Aunque existen vacíos de información sobre la flora de esta gran región de México, numerosos estudios botánicos describen su riqueza de especies, formas de vida, endemismos y rangos de distribución que en Sonora alcanzan el límite norte de su distribución neotropical. Son muy contados los estudios a nivel del ecosistema que analicen procesos funcionales, tales como la productividad primaria, el ciclaje de nutrientes y el almacenamiento de carbono y no existe aún información sobre el valor de estos ecosistemas en términos de su capacidad para proveer servicios de beneficio para la sociedad. Los ecosistemas de Sonora están fuertemente amenazados por disturbio antropogénico, principalmente transformación a agricultura, praderas para uso pecuario, minería, urbanización y desarrollos costeros. Numerosos procesos clave del ecosistema son vulnerables a la intervención humana y la pérdida del capital natural está directamente relacionada con las pautas de consumo de energía, de aprovechamiento de la tierra y con el crecimiento demográfico, por lo que son urgentes acciones ecológicas, políticas y sociales coordinadas para conservar sus bienes y servicios.

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

² San Diego Natural History Museum.

ABSTRACT. The ecosystems of Sonora form a continuum of ecological variation from the arid coast of the upper Gulf of California to the winter-cold and humid mountains at the top of the Sierra Madre Occidental. Along this gradient there is a multitude of contrasting environmental conditions, types of vegetation, ecotones and high biodiversity related to the considerable climatic, edaphic and topographic variability of the region. Sonoran vegetation includes: mangroves, four of the seven Sonoran Desert subdivisions, two types of thornscrub, tropical dry forest, grasslands, oak forests and woodlands, pine-oak forests, and mixed conifer forest in higher mountains. These ecosystems provide numerous goods and services to society that can be appraised economically, but are of infinite value in reality. Although there are substantial gaps in the knowledge of the flora of this region, many studies describe the species richness, diversity of life forms, endemisms and distributions. Studies at the ecosystem level analyzing functional processes such as primary productivity, nutrient cycling and carbon accumulation are very limited, and there is a lack of factual information about the value of these ecosystems in terms of their capacity to provide services to society. Sonoran ecosystems are at risk by anthropogenic disturbance including transformation to agriculture, pastures, mining, urbanization and multiple coastal developments. Many key ecosystem processes are vulnerable to human intervention, and the loss of the natural capital is directly related to the patterns of energy use, land exploitation and population growth, so that urgent actions are ecological, social and political coordinated to keep their goods and services.

INTRODUCCIÓN

La diversidad de ecosistemas es un concepto usado

para denotar la variedad o distintos tipos de ecosistemas presentes en un determinado lugar. Desde la perspectiva de la ecología de ecosistemas, este capítulo trata sobre la diversidad de ecosistemas terrestres en el estado de Sonora, para lo cual se abordan los siguientes aspectos: 1) la definición del concepto ecosistema y de sus propiedades emergentes, incluyendo los servicios ecosistémicos y la importancia ecológica y social de la evaluación del capital natural; 2) una breve descripción de los tipos de ecosistemas que, por su extensión, valor intrínseco o características distintivas, se consideran los más representativos de Sonora; 3) una presentación de los resultados más sobresalientes de los pocos estudios ecológicos realizados en Sonora con un enfoque ecosistémico; 4) una propuesta de evaluación de la importancia relativa de cada uno de los ecosistemas de Sonora en función de su capacidad para proveer servicios; 5) un breve análisis de los principales agentes de alteración y fragmentación del paisaje que amenazan la integridad funcional de los ecosistemas terrestres de Sonora y que, por lo tanto, ponen en riesgo la provisión de bienes y servicios vitales para la sociedad.

EL CONCEPTO ECOSISTEMA

El ecosistema se define como una unidad funcional de la naturaleza que consiste de todos los organismos que viven en un área determinada y que interactúan entre sí y con el ambiente que los rodea. Todos los ecosistemas están constituidos por un componente biótico, o comunidad biológica, y un componente abiótico, o conjunto de factores físicos y químicos que varían continuamente en espacio y tiempo. Debido a la inherente naturaleza dinámica de los ecosistemas y al gran número de factores que alteran frecuentemente sus bordes, las fronteras entre ecosistemas son difusas, excepto en situaciones como la franca separación entre un ecosistema acuático y uno terrestre o cuando existen cambios abruptos en las condiciones del suelo que alteran el patrón de distribución de las plantas. Generalmente se forman ecotonos o zonas de

transición entre bordes que pueden albergar a otras especies, además de las especies de las áreas homogéneas que éstos separan. Los ecosistemas son sistemas termodinámicamente abiertos, por lo que mantienen un continuo intercambio de materia y energía con su entorno. Ya que están interconectados, lo que afecta a un ecosistema afecta a los ecosistemas colindantes (Osborne, 2000; Chapin *et al.*, 2002).

Hay muchos tipos de ecosistemas terrestres que difieren en estructura y funcionamiento. Las diferencias climáticas de un lugar a otro determinan en gran medida los tipos de ecosistemas que existen y la forma en la que los distinguimos depende de la fisionomía de la vegetación dominante, la cual está influenciada principalmente por el macroclima. También se pueden diferenciar por otras características, como el efecto de continentalidad o la cercanía con el mar, que separa, por ejemplo, a los desiertos fríos de los cálidos, o por efecto de la topografía que separa a los ecosistemas de las partes altas de las montañas de aquellos situados en los valles (Whittaker, 1975; Osborne, 2000).

La ecología de ecosistemas estudia cómo actúan los ecosistemas y los mecanismos que determinan su estructura y funcionamiento. Analiza los procesos que ocurren entre el componente biótico y abiótico a una escala espacio-temporal grande (Bormann y Likens, 1979). Estos procesos se relacionan básicamente con la transformación de la energía y la circulación de nutrientes, los cuales originan propiedades emergentes del ecosistema, esto es, propiedades que no se explican por la suma de sus partes (Chapin *et al.*, 2002). Así, los estudios ecosistémicos analizan propiedades tales como la cantidad de energía solar que es convertida por fotosíntesis en materia orgánica y su tasa de acumulación (productividad primaria), la degradación de la materia orgánica (descomposición), la energía y los materiales que fluyen a lo largo de los eslabones de la cadena alimenticia (estructura trófica), las tasas a las que ocurren estos procesos (flujo de energía) y el movimiento de elementos entre la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera (ciclos biogeoquímicos) a diferentes niveles de resolución espacial y temporal. Estos estudios también tratan

de explicar la relación que existe entre la complejidad del ecosistema y otros atributos como su estabilidad, resiliencia y vulnerabilidad. Por su enfoque, la ecología de ecosistemas es un campo de estudio interdisciplinario, por lo que interactúa con la edafología, la hidrología, la climatología y la ecofisiología para explicar los mecanismos físicos, químicos y biológicos que determinan la estructura de los ecosistemas y los procesos que éstos mantienen (Chapin *et al.*, 2002).

Hoy en día es incuestionable la fuerte relación que existe entre las actividades humanas y la problemática ambiental. Por eso, en el desarrollo de estudios a nivel de ecosistema ha sido cada vez más importante la interacción de la ecología con las ciencias sociales (DeFries *et al.*, 2004; Dietz *et al.*, 2007); un nuevo y vigoroso campo de investigación que en México es apenas incipiente (Castillo, 2006; Luque-Agraz y Robles-Torres, 2006; Romero-Lankao, 2006). La incorporación de la dimensión humana (*i.e.*, demografía, valores sociales, instituciones político-sociales, estructuras económicas, fuerzas de mercado y procesos históricos) ha sido crucial en la creación de marcos conceptuales y en los avances y consolidación de estudios de conservación, manejo y restauración de ecosistemas (MA, 2005).

BIENES Y SERVICIOS DEL ECOSISTEMA

Los ecosistemas proveen de bienes y servicios que son críticos para la vida y esenciales para el desarrollo económico de la sociedad. Los componentes de bienestar humano ligados a estos servicios son materiales básicos para una buena vida, para la salud, la seguridad personal, la libertad de elección y la acción y la cohesión social, entre otros factores (MA, 2005). Paradójicamente, el valor intrínseco de los servicios ecosistémicos es raramente tomado en cuenta en la toma de decisiones de la política ambiental (Daily *et al.*, 1997).

Los servicios del ecosistema se agrupan en cuatro categorías: 1) de provisión, 2) culturales, 3) de regulación y, 4) de soporte (Daily, 1997a). Los pri-

meros se derivan de la fotosíntesis y son recursos extractivos como alimentos, plantas medicinales, combustible y materiales de construcción. Los servicios culturales son los que se relacionan con la provisión de beneficios no materiales como la belleza escénica y la inspiración intelectual. Los servicios de regulación resultan de procesos no extractivos como el control de inundaciones y de erosión, la purificación del agua y la regulación de enfermedades y plagas. Los servicios de soporte, que son necesarios para la provisión de los otros servicios, incluyen beneficios intangibles como la formación de materia orgánica, la producción de oxígeno, la desintoxicación del suelo y el ciclo de nutrientes (Daily *et al.*, 1997; MA, 2005).

Resulta obvio que algunos de estos servicios se pueden traducir a valor económico. Sin embargo, otros son técnicamente difíciles de evaluar, porque no son directamente cuantificables o porque los métodos económicos actuales de valuación de mercado no son los apropiados o no pueden ser aplicados para este fin (Costanza *et al.*, 1997; Daily, 1997b; WSTB, 2004). Aun en presencia de discusiones filosóficas biocéntricas o antropocéntricas de la noción de valor, existen numerosos trabajos que discuten la importancia de establecer un sistema de evaluación económica del capital natural, considerando que son muchas las ventajas de dicho sistema tanto en términos ecológicos como en términos de las acciones de conservación, manejo y restauración de ecosistemas. Se argumenta que un sistema de valuación es importante para: 1) definir la capacidad de cada tipo de ecosistema para proveer distintos servicios, 2) mejorar la toma de decisiones y resolver conflictos de elección entre conservar y restaurar un ecosistema o autorizar la expansión de las actividades humanas, 3) medir los costos económicos que se pueden evitar si se tuvieran que reemplazar servicios vitales que se pierden como resultado del disturbio antrópico y, 4) identificar señales de alerta de alteración fundamental de los servicios ecosistémicos que causen pérdidas de recursos ecológicos, económicos y sociales (Daily *et al.*, 1997; WSTB, 2004; MA, 2005; Haberl *et al.*, 2007).

LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES DE SONORA

En Sonora se pueden reconocer cinco regiones naturales principales en un gradiente ambiental geográfico de norte a sur y de este a oeste: 1) el verdadero desierto en la región noroeste, 2) una faja árida y semiárida en las planicies del centro, 3) los deltas de grandes ríos y sus tributarios que drenan hacia el Golfo de California y los ambientes de transición hacia la línea de costa, 4) una faja tropical y subtropical a lo largo del piedemonte de la Sierra Madre Occidental, 5) una faja templada en las partes de mayor elevación de la Sierra Madre Occidental en los límites con Chihuahua y en las «islas del cielo» de las montañas del noroeste de Sonora.

El clima de la región varía desde el libre o casi libre de heladas al tropical seco y templado, del húmedo en los cañones y en lo alto de las montañas al seco y extremadamente árido en el desierto. Al este y en las elevaciones altas de Sonora predominan las condiciones semiáridas, pero la aridez se incrementa gradualmente hacia el norte y oeste. En general, la precipitación total anual aumenta con la elevación, pero disminuye de sur a norte y de este a oeste (figura 1). En los sitios de menor precipitación las lluvias son más esporádicas e impredecibles. Este último rasgo es, en muchos sentidos, de mayor significado biológico que la cantidad promedio anual de precipitación (Ezcurra y Rodríguez, 1986). En general se puede decir que la distribución de los tipos de vegetación y la riqueza y abundancia de los recursos naturales de Sonora es paralela a estos gradientes (figura 2), aunque variaciones acentuadas en las características del suelo pueden causar desviaciones del patrón general (Goldberg, 1982; Búrquez *et al.*, 1992 y 1999; Felger *et al.*, 2001; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006).

No sorprende que en esta región de extremos se presente una gran variedad de ambientes, formas de vida y riqueza de especies que han llamado la atención de estudios botánicos por muchos años (Cartron *et al.*, 2005; Felger *et al.*, 2007a y 2007b). Algunos de estos trabajos se han convertido en la referencia estándar de la vegetación del noroeste de México (*v.g.*, Gentry, 1942; White, 1948; Shreve,

1951; Marshall, 1957; Felger y Lowe, 1976; Rzedowski, 1978; Brown, 1982; Ezcurra *et al.*, 1987; Martin *et al.*, 1998; Turner *et al.*, 1995; Van Devender *et al.*, 2000 y 2005; Felger, 2000; Felger *et al.*, 2001).

Ya que existe una estrecha correspondencia entre la comunidad de plantas y las tasas a las que ocurren los procesos del ecosistema, en este capítulo nos referiremos a los principales tipos de ecosistema de Sonora por la vegetación dominante que los constituye o porque representan alguna de las regiones fitogeográficas descritas por Shreve (1951). Además, incluimos un ecosistema nuevo para Sonora, el pastizal de zacate buffel, dominado por una gramínea que fue introducida al estado hace algunas décadas para incrementar la productividad de las tierras de agostadero. En la actualidad esta gramínea no se limita a las áreas donde fue sembrada, sino que ha invadido naturalmente extensas áreas de la región noroeste del estado con consecuencias ecológicas negativas e irreversibles no previstas (Búrquez *et al.*, 1998; Franklin *et al.*, 2006). La dinámica de los procesos del funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas de Sonora no ha sido aún estudiada, por lo que en este capítulo la descripción de las características de cada uno será abordada principalmente en función de la composición florística, las especies dominantes y los atributos de la vegetación. Los principales ecosistemas que se describen en este capítulo son 13 (tabla 1).

Desierto Sonorense

El Desierto Sonorense es uno de los biomas más importantes de Norteamérica. Ocupa una región de aproximadamente trescientos mil kilómetros cuadrados en el noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos. Debe su nombre a que un tercio de su extensión total se encuentra en el estado de Sonora. Su clima se caracteriza por presentar veranos muy calientes, inviernos benignos, alta variación a lo largo del año en la diferencia de temperatura día/noche y también alta variación en la cantidad de lluvia anual típicamente bimodal con picos en invierno y verano. La temperatura y la pre-

Tabla 1. Principales tipos de ecosistemas terrestres de Sonora considerados en este trabajo

Desierto Sonorense	Subdivisión Valle del Bajo Río Colorado (1) Subdivisión Altiplano de Arizona (2) Subdivisión Costa Central del Golfo (3) (incluye islas del Golfo y manglares) Subdivisión Planicies de Sonora (4)
Matorral Espinoso	Matorral Espinoso de Piedemonte (5) Matorral Espinoso Costero (6)
Bosque Tropical Caducifolio (7)	
Bosque Madrense	Encinar (8) Bosque de Pino-Encino (9) Bosque Mixto de Coníferas (10)
Pastizal de Altura (11)	
Desierto Chihuahuense (12)	
Pastizal de Zacate Buffel (13)	

precipitación varían igualmente en forma marcada dependiendo de la latitud, la elevación y la importancia relativa de la influencia continental y marina (Shreve, 1951; Turner *et al.*, 1995; Búrquez *et al.*, 1999). Shreve (1951) identificó siete subdivisiones de la vegetación del Desierto Sonorense basadas en las características y organización de las comunidades de plantas y en su ámbito geográfico de distribución. De las siete subdivisiones cuatro están representadas en Sonora y una de ellas (Planicies de Sonora) es exclusiva del estado (figura 2). En Sonora estas unidades cubren una enorme diversidad de hábitats que bien pueden corresponder a fronteras geomórficas, edáficas, hidrológicas, climáticas o de historia de uso de suelo (Felger, 2000). Las características más sobresalientes de cada uno de estas cuatro subdivisiones son las siguientes:

Valle del Bajo Río Colorado

Es la segunda subdivisión más extensa de la región del Desierto Sonorense en Sonora y cubre aproximadamente tres millones de hectáreas (figura 2). Nombrada por Shreve (1951) la región *Larrea-Ambrosia*, incluye el Delta del Río Colorado, que drena en el Golfo de California, y tierras bajas (<400 m) hasta las cercanías del Arroyo Arivaipa; forma una cuña orientada hacia el sur entre las subdivisiones Costa Central del Golfo y Planicies de Sonora (figura 2). Es una de las regiones más áridas de Sonora, con precipitaciones escasas e im-

predecibles de menos de 75 mm anuales. La vegetación de las planicies en suelos predominantemente arenosos es un desierto micrófilo estructuralmente simple dominado por *Larrea divaricata* y *Ambrosia deltoidea* o *A. dumosa*, con una rica flora de plantas efímeras estacionalmente abundantes. Aunque de estructura simple, en esta subdivisión existe una considerable variación florística y de vegetación entre diferentes hábitats (Felger *et al.*, 2007a). Esta región alberga dos de las reservas de la biosfera más importantes de México: la del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado y la de El Pinacate y Gran Desierto de Altar, las cuales, desde 1995, forman parte de la Red Mundial de Reservas de la Biosfera de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Estas dos reservas incluyen prominentes sierras volcánicas, sierras graníticas, numerosos cráteres de origen volcánico, extensos flujos de lava, el sistema de dunas móviles más extenso de Norteamérica (figura 3), amplias planicies, remanentes del Gran Delta del Río Colorado, un complejo sistema de hábitats costeros y numerosos oasis del desierto alimentados por el acuífero del Gran Desierto de Altar (Felger, 1980; Ezcurra *et al.*, 1987 y 1988; Felger, 2000; Felger *et al.*, 2007a y 2007b). La vegetación es dinámica y su apariencia actual, especialmente en la región de El Pinacate, es en gran medida el resultado de la presencia de años extremadamente secos desde mediados del siglo

pasado a la fecha (Turner *et al.*, 2003). El sistema de dunas del Gran Desierto y los cráteres y flujos de lava de El Pinacate albergan una gran variedad de hábitats, muchos de ellos de condiciones extremas en donde las plantas no prosperan, pero otros únicos, con una flora relativamente rica en especies y plantas endémicas (Felger, 2000).

Altiplano de Arizona

Hacia el este del Valle del Bajo Río Colorado se localiza el Altiplano de Arizona que ocupa en Sonora una extensión aproximada de 1.6 millones de hectáreas entre Sonoyta y Magdalena (figura 2). Es la subdivisión del Desierto Sonorense de mayor elevación en el estado (de 150 a 950 msnm). La precipitación varía de 75 a 300 mm y las temperaturas de congelación son comunes. La vegetación es un desierto crasicalescente dominado por arbustos bajos y plantas leguminosas y suculentas localizadas en las montañas, sobre pendientes rocosas (figura 4). Esta subdivisión fue también nombrada región *Parkinsonia*, *Cylindropuntia* y *Opuntia* por la presencia importante, más que en cualquiera de las otras subdivisiones, de estos tres géneros (Shreve, 1951). Aunque las cactáceas son muy abundantes, uno de los elementos más conspicuos es el saguaro (*Carnegiea gigantea*), que llega a formar densos y extensos bosques de amplia distribución en la región. Porciones de esta subdivisión están representadas en la región oriental de la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar.

Costa Central del Golfo

Presente en ambos lados del Golfo de California, esta subdivisión del Desierto Sonorense es la de menor área en el estado y cubre una extensión aproximada de un millón de hectáreas (figura 2). Conocida como región *Bursera-Jatropha* (Shreve, 1951), esta unidad se distribuye como una estrecha banda a lo largo de la mayor parte de la costa de Sonora (figura 5). Se le considera la tierra tradicional de los comcáac (seris) (Felger y Moser, 1985). También se distribuye en las casi novecientas islas e islotes del Golfo de California, las cuales fueron decretadas en 1978 como Zona de Reserva y Refu-

gio de Aves Migratorias y de la Fauna Silvestre y en 2000 como Área de Protección de Flora y Fauna, además de que desde 1995 fueron incluidas en la Red Mundial de Reservas de la Biosfera de la UNESCO. La precipitación aquí es muy baja e irregular con una aportación menor de 150 mm anuales y no son raros los años en los que no se registra lluvia, por lo que esta región siempre ha sido muy árida para el desarrollo de la agricultura tradicional. En las partes altas de la Isla del Tiburón y de la sierra del Aguaje al norte de Guaymas, la precipitación es mayor y la vegetación es un matorral espinoso de piedemonte o ecotono entre este matorral y Desierto Sonorense con numerosos elementos subtropicales (Felger y Lowe, 1976; Felger, 1999; Wilder *et al.*, 2007 y 2008). Por su cercanía con el mar, la temperatura anual en las islas es menor que hacia tierra firme. La vegetación de esta subdivisión se define como un desierto crasicalescente abierto de baja productividad (Díaz-Martínez, 2001) dominado por plantas suculentas de tallos gruesos (figura 6), entre los que destacan por su abundancia el cardón o sagüeso *Pachycereus pringlei*, una cactácea columnar de gran porte, y las especies arbóreas *Acacia willardiana*, *Olneya tesota*, *Bursera hindsiana*, *B. microphylla* y las arbustivas *Jatropha cinerea* y *J. cuneata*. Algunas de las especies de árboles presentan troncos característicamente cortos, muy engrosados y de forma irregular. Esta subdivisión sustenta una flora muy diversa, rica en endemismos, especialmente aquellos que se comparten con la península de Baja California, tales como *Fouquieria columnaris* (típica de la subdivisión Vizcaíno), *Euphorbia xanti* y *Stenocereus gummosus*, relictos típicos de Baja California en la costa de Sonora (Felger y Lowe, 1976; Wilder *et al.*, 2007 y 2008).

En su límite con el mar, la vegetación de la Costa Central del Golfo presenta una zona de transición donde prosperan diversas gramíneas, herbáceas perennes, especialmente suculentas, y arbustos que forman una banda bien definida de plantas halófitas (tolerantes a la salinidad) que caracterizan a la vegetación de dunas costeras (Johnson, 1982). En los estuarios abiertos al mar, que en las regiones de-

sérticas son estuarios inversos afectados casi únicamente por las condiciones cambiantes de las mareas, se favorece el establecimiento de distintas especies de mangle que forman un denso y continuo dosel arbóreo a lo largo del estuario (figura 7). La vegetación de los manglares en Sonora está formada de tres especies *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae), *Avicennia germinans* (Acanthaceae) y *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) (Felger *et al.*, 2001). Una especie más, *Conocarpus erecta* (Combretaceae), se añade a los manglares del sur de Sonora. Los manglares se distribuyen en los esteros, bahías protegidas y a lo largo de las planicies aluviales que gradualmente se sumergen en el mar. Estos manglares del desierto son de porte bajo, y su dosel normalmente no sobrepasa los cuatro metros de altura. Presentan adaptaciones morfológicas y fisiológicas especiales de resistencia a la salinidad y de respuesta al flujo cambiante del nivel del mar. En esta región del mundo los manglares alcanzan su límite norte de su área de distribución neotropical en el Estero Sargento al norte del Canal del Infiernillo a 29°20'N (Felger y Moser, 1985; Felger *et al.*, 2001; Whitmore *et al.*, 2005).

A pesar de su escasa representación en términos de superficie, los manglares son de importancia extrema por su elevada productividad biológica, por ser un hábitat especial de numerosas especies terrestres y marinas y por su papel fundamental en la protección de la línea de costa. Muchas especies animales encuentran refugio y alimento en los manglares, desde mamíferos que consumen peces e invertebrados, aves que eligen estos ambientes como sitios de anidación (Mellink y De la Riva, 2005), hasta numerosas especies marinas de importancia comercial que pasan algún estadio de su ciclo de vida asociado a los manglares. Esta vegetación, además de su innegable valor estético, presenta un elevado valor económico en lo que respecta a las pesquerías (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2000). A pesar de su importancia ecológica y las medidas de protección, grandes extensiones de manglar han sido transformados en la actualidad para el establecimiento de granjas acuícolas, para desarrollos turísticos o para el cultivo de especies no nativas de mangle.

Planicies de Sonora

Esta subdivisión cubre una extensión aproximada de tres millones de hectáreas localizadas en la parte central de Sonora, entre la faja costera y las montañas de la Sierra Madre Occidental, a una elevación de entre 100 y 750 msnm (figura 2). También nombrada por Shreve (1951) como región *Olneya-Encelia*, presenta una vegetación que se define como un desierto arbosufrutecente dominado por árboles de gran talla, como el palo fierro *Olneya tesota*, el mezquite *Prosopis velutina* y el palo verde *Parkinsonia microphylla*, además de numerosos arbustos como la rama blanca *Encelia farinosa* (figura 8). A una escala espacial de cientos de hectáreas, la estructura de la vegetación cambia de los sitios planos, donde predomina un matorral abierto de escasa cobertura y pocas especies, a los sitios de arroyo, donde el matorral es más diverso y con una mayor densidad, biomasa y productividad de plantas perennes (Martínez-Yrizar *et al.*, 1999; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006). A pesar de su importancia ecológica, hasta el momento no existe ninguna reserva formal que proteja este ecosistema y que permita enfrentar la fuerte amenaza representada por la creciente invasión de zacate buffel y el desarrollo urbano e industrial. El área cercana al Rancho El Carrizo, al sur de Benjamín Hill, probablemente presenta la mayor diversidad de gramíneas nativas que cualquier otra área del Desierto Sonorense. La densa cubierta del zacate borreguero (*Bouteloua diversispicula* = *Cathastecum brevifolium*) forma un tipo de pastizal desértico único en esta área. Al sur de Guaymas se presenta la transición de esta subdivisión con el matorral espinoso costero y hacia el este y en las montañas con el matorral espinoso de piedemonte. Otra transición se observa en las montañas dentro de esta subdivisión, en las que se desarrolla el matorral espinoso de piedemonte, especialmente en las pendientes orientadas al norte y este con mayor humedad.

Matorral Espinoso

El matorral espinoso (thornscrub) en México es de origen tropical. Es uno de los ecosistemas me-

nos estudiados y más amenazados por actividades antropogénicas. En Sonora, este matorral fue nombrado por Brown (1982) como «Sinaloan thornscrub», aunque de acuerdo con Felger y Lowe (1976) y Búrquez *et al.* (1999), se pueden reconocer dos formaciones distintas: el Matorral Espinoso de Piedemonte y el Matorral Espinoso Costero, cada uno con características florísticas y estructurales propias. En la parte alta de las montañas del Desierto Sonorense, como en la sierra del Aguaje, al norte de San Carlos, y en la sierra Libre, entre Guaymas y Hermosillo, que son como islas del cielo del desierto, la característica más conspicua del matorral espinoso es la presencia de *Lysiloma divaricatum*, la cual forma un denso estrato arbóreo. Es también prominente *Brahea brandegeei*, una especie de palma que forma densas poblaciones en la parte alta de los cerros y acantilados, en los cañones y a lo largo de los principales drenajes de estas sierras. Se han registrado más de 115 especies de árboles del matorral espinoso (Felger *et al.*, 2001).

Matorral Espinoso de Piedemonte

Esta unidad de vegetación fue originalmente clasificada por Shreve (1951) como una de las subdivisiones del Desierto Sonorense con la designación «Foothills of Sonora», pero posteriormente fue separada, por su carácter distinto al desierto, y reclasificada como matorral espinoso (thornscrub) (Felger y Lowe, 1976; Turner y Brown, 1982; Búrquez *et al.*, 1999). Esta unidad se extiende hacia el norte y a lo largo del límite este del Desierto Sonorense y en las laderas de los cerros y sitios de mayor altitud de la subdivisión Planicies de Sonora (figura 9). Es un matorral espinoso arbustivo o semi-arborescente muy diverso de origen tropical, con un dosel casi cerrado (Felger, 2000). Representa la transición entre la vegetación del Desierto Sonorense y el bosque tropical caducifolio del flanco occidental de la Sierra Madre Occidental (Búrquez *et al.*, 1999). De las numerosas especies del matorral destacan por su abundancia: *Acacia russelliana*, *Bursera fagaroides*, *B. laxiflora*, *Cordia sonora*, *Fouquieria macdougalii*, *Haematoxylum brasiletto*, *Ipomoea arborescens*, *Jatropha cordata*, *Lysilo-*

ma divaricatum, *L. watsonii*, *Mimosa distachya* y *Stenocereus thurberi*, entre otras (Búrquez *et al.*, 1999; Felger *et al.*, 2001; Beltrán-Flores, 2006).

Matorral Espinoso Costero

Distribuido al sur del Desierto Sonorense, este matorral fue llamado por Gentry (1942) «thorn forest» para enfatizar la predominancia de *Acacia cochliacantha*, una leguminosa fuertemente armada con gruesas espinas en forma de canoa (Felger *et al.*, 2001). Otras especies típicas del matorral costero son: *Bursera fagaroides*, *Forchhammeria watsonii*, *Guaiacum coulteri*, *Haematoxylum brasiletto*, *Havardia sonora* y *Jacquinia macrocarpa* subsp. *pungens*. De las especies de cactáceas predominan el etcho (*Pachycereus pecten-aboriginum*) y el pitayo (*Stenocereus thurberi*). Esta última especie tiene un amplio rango de distribución en el estado, pero en la región centro y sur presenta las más altas densidades poblacionales y forma una comunidad estructuralmente compleja rica en especies. Por la predominancia de pitayos y su elevada densidad (400 ind. ha⁻¹), «El Pitayal» (figura 10) es el nombre con el que se denomina localmente a este matorral costero que se distribuye en una estrecha banda que cubre decenas de miles de hectáreas en las planicies de la costa del sur de Sonora. A pesar de su importancia ecológica, cultural, económica y social (Bustamante, 2003; Orozco-Urías, 2007; Yetman, 2006), El Pitayal ha sido extensamente transformado, principalmente a agricultura de irrigación y para el establecimiento de granjas acuícolas. Igualmente importantes en esta región son los manglares que, profundamente influenciados por los drenajes de los ríos Yaqui, Mayo y Fuerte, alguna vez fueron los más extensos y densos de Sonora (Felger *et al.*, 2001). La flora y sus relaciones se discuten en detalle en Friedman (1996).

Bosque Tropical Caducifolio

El bosque tropical caducifolio (o «selva baja caducifolia») de Sonora representa el límite norte de su distribución en América aproximadamente a los 28° N (Martínez-Yrizar *et al.*, 2000). Se ubica prin-

principalmente entre el matorral espinoso de piedemonte a baja elevación y la zona de encinares hacia el este a mayor elevación, típicamente entre 250 y 1 200 m de altitud (figura 2). Hacia el norte, sobre el límite este del Desierto Sonorense, el bosque tropical caducifolio se extiende y se mezcla imperceptiblemente con el matorral espinoso de piedemonte. En su condición natural (figura 11), el bosque tropical caducifolio presenta un dosel cerrado de 10 a 15 m de alto, compuesto por una flora de origen tropical muy diversa y con cambios estructurales claramente relacionados con la variabilidad topográfica y las condiciones edáficas (Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Felger *et al.*, 2001; Varela-Espinosa, 2005).

De acuerdo con Yetman *et al.* (1995), dos características sobresalientes de este bosque en Sonora son la presencia y alta densidad de mauto, *Lysiloma divaricatum*, y la alta diversidad y abundancia de individuos del género *Bursera* (ocho especies). Un rasgo interesante es la presencia de encinos a muy baja elevación (hasta 200 m) con dominancia de *Q. albocincta*, *Q. chihuahuensis* y *Q. tuberculata*, pero restringidos dentro del bosque tropical caducifolio a zonas con suelos ácidos alterados por acción hidrotermal, en donde forman un peculiar mosaico de vegetación (figura 12) (Gentry, 1942; Goldberg, 1982; Martin *et al.*, 1998). Otra característica sobresaliente es la presencia de vegetación ribereña en el fondo de los cañones y a lo largo de los arroyos, los cuales actúan como corredores de intrusiones de la vegetación adyacente (Felger *et al.*, 2001). En estas condiciones de humedad extra se favorece el establecimiento de orquídeas tropicales epífitas y saxícolas (Felger y Dimmitt, 1998). Se han registrado más de ciento cincuenta especies de árboles en el bosque tropical caducifolio de Sonora (Felger *et al.*, 2001). Ejemplares de géneros importantes incluyen a *Bursera*, *Ceiba*, *Chloroleucon*, *Conzattia*, *Ficus*, *Haematoxylum*, *Lonchocarpus*, *Lysiloma* y *Tabebuia*. Por su importancia en términos de la distribución geográfica del bosque tropical caducifolio en México, la Sierra de Alamos-Río Cuchujaqui fue decretada en 1996 como Área de Protección de Flora y Fau-

na Silvestre y Acuática, a fin de salvaguardar una extensa área de bosque tropical caducifolio en Sonora. En 2007, esta reserva fue incorporada a la Red Mundial de Reservas de Biosfera de la UNESCO. Van Devender *et al.* (2000) presentan una descripción de la vegetación y de la flora rica en especies del bosque a lo largo del río Cuchujaqui, el tributario más norteño del río Fuerte.

Bosque Madreño

Agrupar a los bosques templados, principalmente a los encinares, los bosques de pino-encino y los bosques de coníferas (figuras 13 a 16). Típicamente se desarrollan en las zonas frías en lo alto de la Sierra Madre Occidental, en un mosaico de condiciones edáficas, desde suelos profundos, ricos en materia orgánica, hasta litosoles someros y muy pedregosos. Son comunidades arbóreas con una flora distintiva rica en especies endémicas. Localmente, las plantas herbáceas (anuales y perennes) llegan a formar un denso y variado sotobosque con afinidades con la flora del Eje Neovolcánico. Las gramíneas presentan numerosos elementos que se comparten con la flora de otras regiones bióticas (Van Devender *et al.*, 2005). Los pinos, representados por 11 especies, son muy importantes en esta región y aportan más del veinte por ciento del total de las especies de pinos en México y América Central (Farjon y Styles, 1997; Farjon *et al.*, 1997). En su conjunto, el bosque madreño alberga 25 especies de *Quercus* que constituyen el género más diverso de árboles de Sonora (Felger *et al.*, 2001).

Encinar

El encinar es una comunidad arbórea ampliamente distribuida en Sonora a elevaciones por arriba del desierto, los pastizales y el bosque tropical caducifolio, pero a menor elevación que los bosques de pino-encino y de coníferas, con los que forma amplios ecotonos (Felger *et al.*, 2001; Van Devender *et al.*, 2005). Los encinares de Sonora son altamente variables en composición y estructura. En el límite inferior de su distribución contienen numerosos elementos de afinidad tropical, mientras

que los elementos neárticos son más importantes a mayor elevación (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006). Extensas áreas del noreste y norte-centro de Sonora están dominadas por encinares abiertos de *Q. emoryi* (figura 13). Esta especie, junto con *Q. arizonica* y *Q. oblongifolia*, son las principales especies de baja elevación en el norte del estado. Hacia el sureste y este-centro de su área de distribución, los encinares forman estrechas bandas entre el bosque tropical caducifolio y los bosques de pino-encino (Felger *et al.*, 2001). Dos especies de encino, *Q. chihuahuensis* y *Q. tuberculata*, se encuentran frecuentemente dispersos entre los árboles del bosque tropical caducifolio, pero su densidad aumenta a partir de los 900 m de elevación, en donde, al ser más cerrado, forma un dosel más típico del encinar (figura 14).

Bosque de Pino-Encino

En las montañas del este de Sonora, entre 1 200 y 2 240 m de elevación, se localizan extensas áreas de bosque de pino-encino incluidas por Brown (1982) dentro de la denominación «Bosque Perennifolio Madrense». En los sitios de mayor altitud aumenta la abundancia de pinos, rasgo que distingue al bosque de pino-encino del bosque de pino *per se*, aunque en términos prácticos es difícil separarlos en las discusiones sobre patrones de distribución de las plantas (figura 15) (Felger *et al.*, 2001). El bosque de pino es también llamado por Brown (1982) «Bosque de Coníferas de Montaña Madrense». La mayor extensión del bosque de pino-encino se presenta en el este de Sonora, a lo largo del flanco occidental de Chihuahua. Estos bosques son similares de norte a sur en estructura, pero se observa una gradual introducción de especies más tropicales y de distribución sur que reemplazan a las especies templadas del norte. Las zonas sureñas albergan una flora diversa con numerosos elementos subtropicales como *Pinus herrerae*, *P. maximinoi*, *P. oocarpa* y *P. yecorensis*. Especies norteñas de pino y encino incluyen a *P. arizonica* y *P. engelmannii*, *Q. emoryi*, *Q. gambellii* y *Q. hypoleucoides*, mientras que los encinos «tropicales» son más diversos e incluyen a *Q. albocincta*, *Q. coccolobifolia*,

Q. viminea y a la especie de hojas espectaculares, por su gran tamaño, *Q. tarahumara* (Felger *et al.*, 2001). A menor elevación hacia el sur se encuentran frecuentemente encinos tropicales asociados a los pinos (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006).

Bosque Mixto de Coníferas

Se ubican en las partes de mayor elevación (>2 100 m) en las montañas de la Sierra Madre Occidental de Sonora, donde se ha reportado la presencia de 13 especies de coníferas, con tres géneros (*Abies*, *Pinus* y *Pseudotsuga*) que definen a este tipo de bosque (figura 16) (Felger *et al.*, 2001). El estudio científico de los bosques mixtos de coníferas, y en general del bosque madrense, es limitado, y aunque existen descripciones florísticas y taxonómicas que destacan la importancia de la región de la sierra de Sonora en términos de la riqueza de especies, no hay estudios a nivel de ecosistema con información sobre las tasas de productividad, almacenamiento de carbono y flujos de nutrientes en la variedad de ambientes en los que se desarrollan las especies que caracterizan a estos bosques.

Pastizal de Altura

El área más extensa de pastizal de altura en Sonora se ubica en los valles y serranías de la región noreste, donde las temperaturas de congelación son comunes (figura 17). Se le encuentra a elevaciones por arriba del desierto y los matorrales y rodeado, entre los 1 050 y 1 700 m de elevación, por los bosques de encino y de pino-encino (Van Devender *et al.*, 2005), con los que mantiene una estrecha relación (McClaran y Van Devender, 1995). La flora de pastos es muy diversa e incluye distintas gramíneas perennes y anuales, dominantes o codominantes (Van Devender *et al.*, 2005). Las especies de la familia Asteraceae pueden llegar a ser muy comunes, junto con otras herbáceas y arbustos que prevalecen en áreas circundantes y en casi todo Sonora, excepto en las áreas del bosque tropical caducifolio (Búrquez *et al.*, 1998).

Dos subdivisiones naturales de pastizal pueden reconocerse en Sonora. Uno es un distintivo pasti-

zal frío-templado y el otro un pastizal desértico. El primero es un representante sureño distante de la región de los pastizales de las grandes planicies («plains grasslands») presente hasta la frontera de México en el noreste de Sonora como una extensión sureña del valle de las Ánimas al oeste de la sierra San Luis y una vasta área al sur de Naco y cerca de Cananea. Entre las especies que destacan por su abundancia, se encuentran *Aristida*, *Bouteloua*, *Digitaria*, *Eragrostis*, *Leptochloa*, *Lycurus*, *Muhlenbergia*, *Panicum*, *Paspalum*, *Schizachyrium*, *Setaria* y *Sporobolus*. Los árboles y los arbustos en esta comunidad son escasos y la flora de plantas leñosas está casi restringida a los arroyos y áreas de drenaje superficial (Felger *et al.*, 2001). En esta misma localidad, en los ranchos El Valle y Cuenca los Ojos en el valle de las Ánimas, se puede reconocer un pastizal frío-templado dominado por *Nolina texana* (figura 18), no registrado antes más allá del este de Coahuila (Van Devender, 2008, com. per.). A baja elevación hacia el sur, pero aún dentro de la región noreste y norte-centro del estado, se presentan áreas aisladas del pastizal desértico. Entre las especies características de gramíneas que conforman este pastizal destacan *Aristida*, *Bouteloua*, *Eragrostis*, *Hilaria*, *Muhlenbergia*, *Panicum*, *Sporobolus* y *Tridens*. La presencia de plantas leñosas es natural, pero la dominancia de gramíneas o de arbustos puede bien ser el reflejo de regímenes climáticos o de disturbio (Van Devender, 1995).

Desierto Chihuahuense

Una importante área de este gran desierto continental, localizado en el norte-centro de México entre la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, se extiende hacia el noroeste de Sonora a elevaciones de <1 430 m, flanqueado en sus fronteras por el pastizal y el encinar y por el matorral de piedemonte hacia el sur (figura 19). Representado por pocas especies de árboles en Sonora (18 especies), presenta un dosel abierto donde predominan los arbustos, principalmente *Acacia neovernicosa*, *Flourensia cernua*, *Larrea divaricata*, *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* y *P. velutina*. La ve-

getación del Desierto Chihuahuense presenta su óptimo en suelos de piedra caliza, los cuales favorecen el desarrollo de la comunidad de desierto en lugar del pastizal.

Pastizal de Zacate Buffel

El zacate buffel, *Pennisetum ciliare*, es una gramínea exótica que crece en Sonora en sitios de clima cálido, libre de heladas fuertes, en un rango de precipitación entre 150 y 600 mm anuales, concentrada en el verano y sin clara preferencia a un tipo de suelo. A *P. ciliare* se le puede encontrar en todos los caminos principales y vecinales de Sonora, desde el nivel del mar y en el desierto extremo al oeste de El Pinacate (Felger, 2000), en los pastizales y bosques templados a lo largo de la carretera federal 2 al este de Agua Prieta y hasta 1 610 m de elevación (Van Devender, 2007, com. per.). Desde su introducción al estado en los años sesenta, más de ochocientas mil hectáreas han sido plantadas con buffel, lo que ha convertido al desierto en un monótono pastizal estructuralmente simple (figura 20). Aunque esta conversión beneficia inicialmente a los rancheros, la colonización del buffel ha sido muy exitosa fuera de los ranchos, lo cual ha ocasionado cambios significativos en la estructura y funcionamiento del desierto y matorrales, además de las consecuencias asociadas a la pérdida de biodiversidad y productividad ya señaladas por distintos autores (Búrquez *et al.*, 1998; Esque *et al.*, 2002; Franklin *et al.*, 2006; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006).

ESTUDIOS ECOSISTÉMICOS EN SONORA

La vegetación, la flora, la fauna y el ambiente físico establecen complejas relaciones funcionales a nivel del ecosistema. Son muy contados los estudios que han documentado la dinámica funcional de los ecosistemas de Sonora (Búrquez *et al.*, 1999; Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Franklin *et al.*, 2006; Gebremichael y Barros, 2006; Martínez-Yrizar *et al.*, 2007). Se sabe que la productividad primaria en

el Desierto Sonorense aumenta en dirección oeste-este en relación con el aumento de precipitación en ese gradiente y de las planicies costeras a las laderas de los cerros principalmente con orientación norte. Sin embargo, mucha de la variación temporal y espacial en productividad está asociada a condiciones específicas de captación de agua debidas a la topografía y a la variabilidad interanual de precipitación, que son muy altas en esta región desértica del país (Búrquez *et al.*, 1999; Martínez-Yrizar *et al.*, 1999; Díaz-Martínez, 2001). Las tasas a las que ocurre otros procesos funcionales como la descomposición de la materia orgánica y el potencial microbiano del suelo también están fuertemente influenciadas por las condiciones particulares del hábitat, aunque la calidad de los residuos orgánicos, principalmente el contenido de lignina, también es un factor determinante en la velocidad de incorporación de los nutrimentos al suelo (Núñez *et al.*, 2001; Martínez-Yrizar *et al.*, 2007). Hacia la sierra, los estudios del funcionamiento del bosque tropical caducifolio muestran que la producción de hojarasca, que es usada como un índice de productividad primaria neta, es baja en esta región, la cual marca el límite norte de la distribución del bosque tropical caducifolio en América, en comparación con los bosques situados hacia el sur en la costa del Pacífico mexicano (Martínez-Yrizar *et al.*, 2000). Sin embargo, la fitomasa aérea se ubica dentro del rango de valores reportado para otros bosques de este tipo ubicados en el neotrópico (Álvarez-Yépez *et al.*, 2008). No existen estudios a nivel de ecosistema de los mezquites, de los ecosistemas ribereños y oasis del desierto y otros humedales costeros, a pesar del papel del agua como el principal factor limitante de su funcionamiento. Tampoco existe información de procesos funcionales del ecosistema para el bosque madrense, no obstante su papel regulador en el ciclo hidrológico a escala regional.

VALOR DE LOS ECOSISTEMAS DE SONORA

Como se mencionó anteriormente, se conoce con cierto nivel de detalle la vegetación de distintas

regiones del estado, pero para la mayoría de los ecosistemas de Sonora no existen datos sobre su estructura y funcionamiento, aun considerando que algunos de ellos, como los encinares, los bosques de pino-encino y los bosques de coníferas, son sistemas con gran influencia en la dinámica del desierto circundante (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006). La información de procesos a nivel de ecosistema es necesaria para: 1) cuantificar los servicios ecosistémicos e identificar su relación con el bienestar humano, 2) analizar la capacidad y los patrones espaciales de cada ecosistema para ofrecer dichos servicios, 3) definir qué regiones son críticas para la conservación por la provisión de los distintos servicios que la población obtiene en la actualidad y, 4) medir el cambio en la provisión de los servicios ecosistémicos por cambio de uso de suelo (WSTB, 2004; Metzger *et al.*, 2006).

Con base en diversos estudios ecológicos y etnobotánicos realizados en distintas regiones del estado (Felger y Moser, 1985; Reina-Guerrero, 1993; Bañuelos y Búrquez, 1996; Búrquez *et al.*, 1998 y 1999; Martínez-Yrizar *et al.*, 1999 y 2007; Yetman *et al.*, 2000; Núñez *et al.*, 2001; Díaz-Martínez, 2001; Yetman y Felger, 2002; Bustamante, 2003; Varela-Espinosa, 2005; Beltrán-Flores, 2006; Luque-Agraz y Robles-Torres, 2006; Felger, 2007; Orozco-Urías, 2007) y el conocimiento sobre procesos en ecosistemas análogos a los de Sonora, diseñamos un criterio de evaluación para estimar el valor relativo de distintos servicios clave que, en ausencia de disturbio antrópico, ofrecen los ecosistemas de Sonora descritos en este capítulo (tabla 2). Esta evaluación muestra que la capacidad para proveer servicios varía de un tipo de ecosistema a otro. También se observa que existe un aumento gradual en el valor total de los servicios de soporte y regulación y de los servicios de provisión conforme cambia el gradiente ambiental, con los valores totales más altos situados en las comunidades dominadas por árboles. En el caso particular del nuevo ecosistema de Sonora, el pastizal de zacate buffel, su contribución relativa en prácticamente todos los servicios es muy pequeña en comparación con los ecosistemas nativos. Sin em-

Tabla 2. Valor relativo de los ecosistemas terrestres de Sonora en términos de la capacidad para proveer distintos tipos de bienes y servicios de beneficio a la sociedad.
(Escala: 0 = nulo; 1 a 4 de menor a mayor importancia regional)

Servicios ecosistémicos	Valle del Bajo Río Colorado	Altiplano de Arizona	Costa Central del Golfo	Planicies de Sonora	Matorral Esp. de Piedemonte	Matorral Espinoso Costero	Bosque Tropical Caducifolio	Bosque Madreño	Pastizal de Altura	Desierto Chihuahuense	Pastizal de Buffel
Servicios de soporte y regulación											
Almacenamiento de carbono	1	2	3	3	3	3	4	4	1	2	1
Control de inundaciones	2	3	2	3	3	3	4	4	3	3	2
Control de erosión	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	1
Captación de agua	1	1	1	2	3	2	4	4	1	2	1
Recarga de acuíferos	1	2	2	3	3	4	4	4	3	2	0
Regulación calidad del aire	3	3	3	3	4	3	4	4	2	2	1
Acervo de recursos genéticos	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
Provisión de polinizadores	2	4	4	4	4	4	4	4	2	4	0
Regeneración fertilidad del suelo	2	2	2	2	3	3	4	4	3	2	1
Total	20	25	25	28	31	30	36	36	21	24	8
Servicios de provisión											
Abastecimiento de agua	1	2	2	2	3	3	3	4	3	2	0
Recursos forestales	1	2	3	3	3	3	4	4	1	2	0
Recursos de vida silvestre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1
Recursos medicinales	2	3	3	3	3	3	4	3	1	2	0
Recursos forrajeros	1	2	1	3	3	3	3	4	4	3	4
Total	9	13	13	15	16	16	18	19	13	13	5
Servicios culturales											
Belleza escénica	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	0
Conocimiento tradicional	2	4	4	3	4	4	4	4	1	4	0
Inspiración intelectual	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	0
Recreación	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0
Total	14	16	16	15	16	16	16	16	9	16	0

bargo, en términos de la provisión de recursos forrajeros, los pastizales inducidos de buffel destacan por su alto valor, pero sólo si se trata de pastizales en óptimas condiciones de manejo o que reciben altos insumos para mantener su productividad. En la práctica, no obstante, numerosos pastizales de

zacate buffel están sometidos a sobrepastoreo, por lo que muestran un evidente deterioro y pérdida de su capacidad productiva (Búrquez *et al.*, 1998).

Considerando los problemas cada vez más recurrentes de escasez de agua en esta región del país (Moreno-Vázquez, 2006), resulta obvio que los eco-

sistemas del noroeste de México con el mayor valor en términos de la provisión de agua y otros servicios de regulación y soporte sean los bosques tropicales y templados de la Sierra Madre Occidental. No sólo por su papel en la captación de agua, sino también por su influencia en la dinámica de los ecosistemas al pie de las montañas y en los valles, la protección y el estudio integral de estos bosques y de las principales cuencas hidrográficas de Sonora es un asunto prioritario que ya debería haber superado la etapa de discusión en la política ambiental y contar con medidas efectivas de protección, mitigación, restauración y aprovechamiento sostenible.

Por su importancia regional como reservorios de carbono y recursos genéticos, así como en el control de la erosión, en la purificación del aire y en la recarga de los acuíferos, los ecosistemas de la costa también deberían contar con estrictas medidas de protección y planes de manejo que respeten los programas de ordenamiento territorial en esta zona. Estos ecosistemas incluyen a los humedales costeros que proveen servicios ecosistémicos de muy alto valor comercial (WSTB, 2004). A pesar de su importancia económica y social, los humedales (en particular los manglares) y la vegetación de las planicies costeras de Sonora han sido transformados principalmente en granjas camaronícolas a una tasa elevada, sin tomar en cuenta que son hábitats críticos para numerosas especies de aves migratorias y elementos esenciales en la dinámica ecológica y el entorno cultural de la línea de costa (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2000; Felger *et al.*, 2001; Luque-Agraz y Robles-Torres, 2006).

AGENTES DE ALTERACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE SONORA Y ACCIONES FUTURAS

Como en numerosas partes de México y del mundo, la biodiversidad y la integridad funcional de los ecosistemas del noroeste de México están fuertemente amenazadas por el acelerado crecimiento demográfico y el impacto derivado de las actividades humanas (Stoleson *et al.*, 2005). Los principa-

les agentes directos de cambio antropogénico en los ambientes terrestres de Sonora han sido la agricultura, la ganadería, la extracción forestal, la minería y el desarrollo urbano (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007). Entre estas actividades productivas destaca la ganadería de bovinos, la cual ha sido una industria tradicional en la región. Los desmontes para la siembra de zacate buffel han introducido un ciclo de pasto-fuego ajeno a la dinámica ecológica del desierto y otras comunidades nativas (Búrquez *et al.*, 2002). Esta especie ha sido capaz de dispersarse y establecerse exitosamente, de forma especial en áreas de intenso pastoreo (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2006; Franklin *et al.*, 2006). Su invasión en tan corto tiempo ha generado un paisaje altamente fragmentado, particularmente en la subdivisión Planicies de Sonora del Desierto Sonorense, lo que ha alterado considerablemente la estructura y dinámica funcional del desierto (figura 21). El pastoreo, la extracción de vara y el corte de leña son prácticas de aprovechamiento comunes en los ecosistemas de Sonora (Lindquist, 2000). Este tipo de disturbio, considerado crónico, puede ser tan destructivo a largo plazo como cualquier tipo de disturbio catastrófico como el desmonte (Álvarez-Yépiz *et al.*, 2008). Desafortunadamente, las actividades extractivas y el cambio de uso de suelo en la región no han sido contrarrestadas con suficientes acciones efectivas de protección ambiental, ni con medidas de apoyo permanente a programas para mejorar el manejo de las áreas protegidas y evitar mayores pérdidas, ni con esquemas que enlacen estas áreas y las de creación reciente para formar corredores biológicos que mantengan la dinámica funcional de los ecosistemas de Sonora a gran escala.

La urgente recomendación de ampliar el sistema de áreas naturales en el estado de Sonora, señalada durante muchos años como una solución importante de conservación de la biodiversidad y protección de los servicios ecosistémicos (Búrquez y Martínez-Yrizar, 1992; Felger *et al.*, 2007a), sigue siendo prácticamente ignorada por los tomadores de decisiones. En su lugar, y a expensas del capital natural de Sonora, se han impulsado grandes pro-

yectos de inversión para el desarrollo turístico en la costa, y se ha continuado con el apoyo a la explotación minera, a la ganadería intensiva y a la agricultura de irrigación (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007). Asimismo, nuevas iniciativas para impulsar el desarrollo económico de la región incluyen la apertura de granjas para la producción de combustibles «limpios» (biodiesel) a través de procesos que involucran la transformación y afectación de cientos de miles de hectáreas de desierto costero y manglar, sin tomar en cuenta la importancia vital del mantenimiento de la biodiversidad y los servicios culturales, de provisión y de regulación asociados a ésta (Balvanera *et al.*, 2001).

La diversidad e integridad de los principales ecosistemas terrestres y acuáticos de Sonora están en alto riesgo y se piensa que su destino se definirá en la próxima década (Cartron *et al.*, 2005). Una visión pesimista para esta región de México es que vastas áreas desaparecerán mientras las acciones para cubrir las necesidades de espacio y recursos, principalmente de agua, para una población en acelerado crecimiento, no sean superadas con acciones orientadas a la conservación, mitigación, restauración y manejo sostenible de sus ecosistemas (Cartron *et al.*, 2005; Carpenter *et al.*, 2006; Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007; Felger *et al.*, 2007a).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Baruk Maldonado su apoyo técnico en la estimación y delimitación de las áreas de las subdivisiones del Desierto Sonorense en Sonora. A Juan Carlos Álvarez, Enriquena Bustamante, Martha Marina Gómez, Cynthia Lindquist, Jesús Sánchez, Benjamin Wilder y David Yetman, por las enriquecedoras discusiones e ideas relacionadas con el uso, manejo y conservación de los ecosistemas de Sonora.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ-YÉPIZ, J.C., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR, A. BÚRQUEZ y C. LINDQUIST. 2008. Variation in Vegetation Structure and Soil Properties Related to Land Use History of Old-Growth and Secondary Forests in Northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management* 256: 355-366.
- BALVANERA, P., G.C. DAILY, P.R. EHRLICH, T.H. RICKETTS, S-A. BAILEY, S. KARK, C. KREMEN y H. PEREIRA. 2001. Conserving Biodiversity and Ecosystem Services. *Science* 291: 2047.
- BAÑUELOS, N. y A. BÚRQUEZ. 1996. Las plantas: una estrategia de salud en la medicina doméstica mayo. *Estudios Sociales* vi (12): 163-189.
- BELTRÁN-FLORES, E. 2006. Efecto de ladera en la composición y estructura de un matorral de piedemonte en el Desierto Sonorense. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- BORMANN, F.H. y G.E. LIKENS. 1979. *Patterns and Process in a Forested Ecosystem*. Springer-Verlag, Nueva York.
- BROWN, D. E., ed. 1982. *Biotic Communities of the American Southwest-United States and Mexico*. Desert Plants. Special Issue, vol. 4, núm. 1-4.
- BÚRQUEZ, A., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR, M.E. MILLER, K. ROJAS, M.A. QUINTANA, D. YETMAN. 1998. Mexican Grasslands and the Changing Aridlands of Mexico: An Overview and a Case Study in Northwestern Mexico. En: B. Tellman, D. Finch, C. Edminster y R. Hamre, eds. *The Future of Arid Grasslands: Identifying Issues Seeking Solutions*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station, RMRS-P3, Fort Collins, Colorado, pp. 21-32.
- BÚRQUEZ, A., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR, R.S. FELGER y D. YETMAN. 1999. Vegetation and Habitat Diversity at the Southern Edge of the Sonoran Desert. En: R.H. Robichaux, ed. *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, EE. UU., pp. 36-67.
- BÚRQUEZ, A., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR y P.S. MARTIN. 1992. From the High Sierra Madre to the Coast: Changes in Vegetation along Highway 16, Maycoba-Hermosillo. En: K.F. Clark, J. Roldán-Quintana y R.H. Schmidt, eds. *Geology and Mineral Resources of Northern Sierra Madre Occidental, Mexico*. Guidebook for the field conference, El Paso Geological Society, El Paso, Texas, pp. 239-252.
- BÚRQUEZ, A., M. MILLER, A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 2002. Mexican Grasslands, Thornscrub and the Transformation of the Sonoran Desert by Invasive Exotic

- Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) En: B. Tellman, ed. *Invasive Species in Sonoran Desert Communities*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 126-146.
- BÚRQUEZ A. y A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 1992. La necesidad de crear reservas ecológicas en el estado de Sonora. En: J.L. Moreno, ed. *Ecología, recursos naturales y medio ambiente en Sonora*. Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología/El Colegio de Sonora. Hermosillo, Sonora, México, pp. 39-46.
- BÚRQUEZ, A. y A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 2000. El desarrollo económico y la conservación de los recursos naturales. En: I. Almada Bay, ed. *Sonora 2000 a debate: problemas y soluciones, riesgos y oportunidades*. Cal y Arena, México, pp. 267-334.
- BÚRQUEZ, A. y A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 2006. Conservación, transformación del paisaje y biodiversidad en el noroeste de México. En: K. Oyama, A. Castillo, eds. *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México*. Siglo XXI/UNAM, México, pp. 85-110.
- BÚRQUEZ, A. y A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 2007. Conservation and Landscape Transformation in Northwestern Mexico. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah, pp. 537-547.
- BUSTAMANTE, E. 2003. Variación espacial y temporal en la reproducción y estructura poblacional de *Stenocereus thurberi*: una cactácea columnar del matorral costero al sur de Sonora, México. Tesis de maestría, Instituto de Ecología, UNAM, México.
- CARPENTER, S.R., R. DEFRIES, T. DIETZ, H.A. MOONEY, S. POLANSKY, W.V. REID y R.J. SCHOLLES. 2006. Millennium Ecosystem Assessment: research needs. *Science* 314: 257-258.
- CARTRON J-L.E., G. CEBALLOS, R.S. FELGER. 2005. Biodiversity, Ecosystems, and Conservation: Prospects for Northern Mexico. En: J-L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 3-7.
- CASTILLO, A. 2006. Generación, comunicación y utilización de conocimiento científico para el manejo de los ecosistemas en México. En: K. Oyama, A. Castillo, eds. *Manejo, conservación y restauración de recursos naturales en México*. Siglo XXI/UNAM, México, pp. 341-361.
- CHAPIN III, F.S., P.A. MATSON y H.A. MOONEY. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer-Verlag, Nueva York.
- COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, S. NAEEM, K. LIMBURG, J. PARUELO, R.V. O'NEILL, R. RASKIN, P. SUTTON y M. VAN DEN BELT. 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* 387: 253-260.
- DAILY, G.C. 1997a. Introduction: What are ecosystem services? En: G. Daily, ed. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C., pp. 1-10.
- DAILY, G.C. 1997b. Valuing and safeguarding Earth's life support systems. G. Daily, ed. *Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, D.C., pp. 365-374.
- DAILY, G.C., S. ALEXANDER, P.R. EHRLICH, L. GOULDER, J. LUBCHENCO, P.A. MATSON, H.A. MOONEY, S. POSTEL, S.H. SCHNEIDER, D. TILMAN y G.M. WOODWELL. 1997. Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. *Issues in Ecology* 2: 1-16.
- DEFRIES, R.S., J.A. FOLEY y G.P. ASNER. 2004. Land-Use Choices: Balancing Human Needs and Ecosystem Function. *Frontiers in Ecology and Environment* 2: 249-257.
- DÍAZ-MARTÍNEZ, A.M. 2001. Variación espacial y temporal de la producción de hojarasca en la subdivisión Costa Central del Golfo del Desierto Sonorense, en Sonora, México. Tesis de licenciatura, Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.
- DIETZ, T., E.A. ROSA y R. YORK. 2007. Driving Ecological Footprint. *Frontiers in Ecology and Environment* 5: 13-18.
- ESQUE, T.C., A. BÚRQUEZ, C.R. SCHWALBE, T.R. VAN DEVENDER, P.J. ANNING y M.J. NIJHUIS. 2002. Fire Ecology of Sonoran Desert Tortoises. Effects of Fire on Desert Tortoises and their Habitats. En: T.R. Van Devender, ed. *Ecology and Conservation of Sonoran Desert Tortoises*. University of Arizona Press. Tucson, Arizona, pp. 312-333.
- EZCURRA, E., M. EQUIHUA y J. LÓPEZ-PORTILLO. 1987. The Desert Vegetation of El Pinacate, Sonora, Mexico. *Vegetatio* 71: 49-60.
- EZCURRA, E., R.S. FELGER, A. RUSSELL y M. EQUIHUA. 1988. Freshwater Islands in a Desert Sand Sea: The Hydrology, Flora, and Phytogeography of the Gran Desierto Oases of Northwestern Mexico. *Desert Plants* 9: 35-44 y 55-63.

- EZCURRA, E. y V. RODRÍGUES. 1986. Rainfall Patterns in the Gran Desierto, Sonora, Mexico. *Journal of Arid Environments* 10: 13-28.
- FARJON, A., J.A. PÉREZ DE LA ROSA y B.T. STYLES. 1997. A Field Guide to the Pines of Mexico and Central America. Kew. *Royal Botanic Gardens*.
- FARJON, A. y B.T. STYLES. 1997. *Pinus* (Pinaceae) *Flora Neotropica Monograph* 75.
- FELGER, R.S. 1980. Vegetation and Flora of the Gran Desierto, Sonora, Mexico. *Desert Plants* 2: 87-114.
- FELGER, R.S. 1999. *The Flora of Cañon de Nacapule: A Desert-Bounded Tropical Canyon near Guaymas, Sonora, Mexico*. Proceedings of the San Diego Society of Natural History, núm. 35, 42 p.
- FELGER, R.S. 2000. *Flora of the Gran Desierto and Río Colorado of Northwestern Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- FELGER, R.S. 2007. Living Resources at the Center of the Sonoran Desert: Native American Plant and Animal Utilization. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry Borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah, pp. 147-192.
- FELGER, R.S., B. BROYLES, M.F. WILSON, G.P. NABHAN, D.L. TURNER. 2007a. Six Grand Reserves, one Grand desert. En: R.S. Felger, B. Broyles, eds. *Dry borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah, pp. 3-26.
- FELGER, R.S., M.B. JOHNSON y M.F. WILSON. 2001. *Trees of Sonora, Mexico*. Oxford University Press, Nueva York.
- FELGER, R.S., S. RUTMAN, M.F. WILSON y K. MAUZ. 2007b. Botanical Diversity of Southern Arizona and Northwestern Sonora. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah, pp. 202-271.
- FELGER, R.S. y C.H. LOWE. 1976. The Island and Coastal Vegetation and Flora of the Gulf of California, Mexico. Natural History Museum of Los Angeles County. *Contributions in Science* 285: 1-59.
- FELGER, R.S. y M.A. DIMMITT. 1998. Orchidaceae. En: P.S. Martin, D. Yetman, M. Fishbein, P. Jenkins, T.R. Van Devender y R.K. Wilson, eds. *Gentry's Río Mayo plants. The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp 492-498.
- FELGER, R.S. y M.B. MOSER. 1985. *People of the Desert and Sea: Ethnobotany of the Seri Indians*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- FRANKLIN, K.A., K. LYONS, P.L. NAGLER, D. LAMPKIN, E.P. GLENN, F.E. MOLINA-FREANER, T. MARKOW y A.R. HUETE. 2006. Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) Land Conversion and Productivity in the Plains of Sonora, Mexico. *Biological Conservation* 127: 62-71.
- FRIEDMAN, S.L. 1996. Vegetation and Flora of the Coastal Plains of the Río Mayo Region, Southern Sonora, México. Masters Thesis. Arizona State University, Tempe, Arizona.
- GEBREMICHAEL, M., A.P. BARROS. 2006. Evaluation of MODIS Gross Primary Productivity (GPP) in Tropical Monsoon Regions. *Remote Sensing of Environment* 100: 150-156.
- GENTRY, H.S. 1942. *Río Mayo Plants. A Study of the Flora and Vegetation of the Valley of the Río Mayo in Sonora*. Carnegie Institution of Washington, publication No. 527. Washington, D.C.
- GOLDBERG, D.E. 1982. The Distribution of Evergreen and Deciduous Trees Relative to Soil Type: An Example from the Sierra Madre Mexico, and a General Model. *Ecology* 63: 942-951.
- HABERL, H., K.H. ERB, F. KRAUSMANN, V. GAUBE, A. BONDEAU, Ch. PLUTZAR, S. GINGRICH, W. LUCHT y M. FISCHER-KOWALSKI. 2007. Quantifying and Mapping the Human Appropriation of net Primary Production in Earth's Terrestrial Ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 12942-12945.
- JOHNSON, A.N. 1982. Dune Vegetation along the Eastern Shore of the Gulf of California. *Journal of Biogeography* 9: 317-330.
- LINDQUIST, C.A. 2000. Dimensions of Sustainability: The Use of Vara Blanca as a Natural Resource in the Tropical Deciduous Forest of Sonora, Mexico. Tesis doctoral, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- LUQUE-AGRAZ, D. y A. ROBLES-TORRES. 2006. *Naturalezas, saberes y territorios comcaac (seri)* INE-Semarnat/CIAD, México.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005. *Ecosystems and Human Well Being: Synthesis Report*. Island Press, Washington, D.C.
- MARSHALL, J.T. 1957. *Birds of the Pine-Oak Woodland in Southern Arizona and Adjacent México*. Cooper Ornithological Society, Berkeley, California.
- MARTIN, P.S., D. YETMAN, M. FISHBEIN, P. JENKINS, T.R. Van Devender y R.K. Wilson. 1998. *Gentry's Río Ma-*

- yo Plants: *The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- MARTÍNEZ-YRÍZAR, A., A. BÚRQUEZ, S. NÚÑEZ y H. MIRANDA. 1999. Temporal and Spatial Variation of Litter Production in Sonoran Desert Communities. *Plant Ecology* 145: 37-48.
- MARTÍNEZ-YRÍZAR, A., M. MAASS y A. BÚRQUEZ. 2000. Structure and Functioning of Tropical Deciduous Forest in Western Mexico. En: R. Robichaux y D. Yetman, eds. *The Tropical Deciduous Forest of Alamos: Biodiversity of a threatened ecosystem in Mexico*. University of Arizona, Tucson, Arizona, pp. 19-35.
- MARTÍNEZ-YRÍZAR, A., S. NÚÑEZ y A. BÚRQUEZ, 2007. Leaf Litter Decomposition in a Southern Sonoran Desert Ecosystem, Northwestern Mexico: Effects of Habitat and Litter Quality. *Acta Oecologica* 32: 291-300.
- MCCCLARAN, M.P. y T.R. VAN DEVENDER, eds. 1995. *The Desert Grassland*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- MELLINK, E. y G. DE LA RIVA, 2005. Non-Breeding Waterbirds at Laguna de Cuyutlan and its Associated Wetlands, Colima, Mexico. *Journal of the Field Ornithology* 76: 158-167.
- METZGER, M.J., M.D.A. ROUNSEVELL, L. ACOSTA, R. LEEMANS y D. SCHROTER. 2006. The Vulnerability of Ecosystem Services to Land Use Change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114: 69-85.
- MORENO-VÁZQUEZ, J.L. 2006. *Por abajo del agua. Sobreexplotación y agotamiento del acuífero de la Costa de Hermosillo, 1945-2005*. El Colegio de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- NÚÑEZ, S., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR, A. BÚRQUEZ y F. GARCÍA. 2001. Carbon Mineralization in the Southern Sonoran Desert. *Acta Oecologica* 22: 269-276.
- OROZCO-URÍAS, C.M. 2007. El pitayo (*Stenocereus thurberi*) un servicio ambiental clave en la vida de los mayo del sur de Sonora. Tesis de licenciatura, Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- OSBORNE, P.L. 2000. *Tropical Ecosystems and Ecological Concepts*. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.
- REINA-GUERRERO, A.L. 1993. Contribución a la introducción de nuevos cultivos en Sonora: las plantas medicinales de los Pimas Bajos del Municipio de Yécora. Tesis de licenciatura, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- ROMERO-LANKAO, P. 2006. Carbono y ciencias sociales, ¿una relación evidente? *Ciencia y Desarrollo* 36: 36-41.
- RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de México*. 1a. ed. Limusa, México.
- SHREVE, F. 1951. *Vegetation of the Sonoran Desert*. Carnegie Institution of Washington, Publication No. 591. Washington, D.C.
- STOLESON, S.H., R.S. FELGER, G. CEBALLOS, C. RAISH, M.F. WILSON y A. BÚRQUEZ. 2005. Recent History of Natural Resource Use and Population Growth in Northern Mexico. En: J-L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 52-86.
- TURNER, R.M., J.E. BOWERS y T.L. BURGESS. 1995. *Sonoran Desert Plants: An Ecological Atlas*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- TURNER, R.M., R.H. WEBB, J.E. BOWERS y J.R. HASTINGS. 2003. *The Changing Mile Revisited: An Ecological Study of Vegetation Change with Time in the Lower Mile of an Arid and Semiarid Region*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- TURNER, R.M. y D.E. BROWN. 1982. Sonoran Desertscrub. En: D. E. Brown, ed. *Biotic communities of the American Southwest-United States and Mexico*. Desert Plants. Special Issue, núms. 1-4: 181-221.
- VAN DEVENDER, T.R. 1995. Desert Grassland History: Changing Climates, Evolution, Biogeography, and community Dynamics. En: M.P. McClaran y T.R. Van Devender, eds. *The Desert Grassland*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 68-99.
- VAN DEVENDER, T.R., A.C. SANDERS, R.K. WILSON y S. MEYER. 2000. Vegetation, Flora, and Seasons of the Rio Cuchujaqui, a Tropical Deciduous Forest near Alamos, Sonora. En: R. Robichaux y D. Yetman, eds. *The Tropical Deciduous Forest of Alamos. Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 36-101.
- VAN DEVENDER, T.R., J.R. REEDER, C.G. REEDER y A.L. REINA. 2005. Distribution and Diversity of Grasses in the Yécora Region of the Sierra Madre Occidental of Eastern Sonora, Mexico. En: J-L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 107-121.
- VARELA-ESPINOSA, L. 2005. Flora y vegetación de la región de San Javier, Sonora, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.

- WHITE, S.S. 1948. The Vegetation and Flora of the Region of the Rio Bavispe in Northeastern Sonora, México. *Lloydia* 11: 220-302.
- WHITMORE, R.C., R.C. BRUSCA, J.L. LEÓN DE LA LUZ, P. GONZÁLEZ-ZAMORANO, R. MENDOZA-SALGADO, E. AMADOR-SILVA, G. HOLGUIN, F. GALVÁN-MAGAÑA, P.A. HASTINGS, J-L.E. CARTRON, R.S. FELGER, J.A. SEMINOFF y C.C. MCIVOR. 2005. The Ecological Importance of Mangroves in Baja California Sur: Conservation Implications for an Endangered Ecosystem. En: J-L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 298-333.
- WHITTAKER, R. 1975. *Communities and Ecosystems*. 2a. ed. MacMillan, Nueva York.
- WILDER, B.T., R.S. FELGER, H. ROMERO-MORALES. 2008. Succulent Plant Diversity of the Sonoran Islands, Gulf of California, Mexico. *Haseltonia* 14: 127-60.
- WILDER, B.T., R.S. FELGER, H. ROMERO-MORALES y A. QUIJADA-MASCAREÑAS. 2007. New Plant Records for the Sonoran Islands, Gulf of California, Mexico. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 1: 1203-1227.
- WSTB (Water Science and Technology Board Report) 2004. Valuing Ecosystem Services: Toward Better Environmental Decision-Making (<http://dels.nas.edu/wstb>).
- YETMAN, D. 2006. *The Organ Pipe Cactus*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- YETMAN, D.A., T.R. VAN DEVENDER, P. JENKINS y M. FISHBEIN. 1995. The Rio Mayo: A History of Studies. *Journal of the Southwest* 37: 294-345.
- YETMAN, D.A., T.R. VAN DEVENDER, R.A. LÓPEZ-ESTUDILLO y A.L. REINA-GUERRERO. 2000. Monte Mojino: Mayo People and Trees in Southern Sonora. En: Robichaux R., D. Yetman, eds. *The Tropical Deciduous Forest of Alamos: Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 19-35.
- YETMAN, D. y R.S. FELGER. 2002. Ethnoflora of the Guarijíos. En: D. Yetman. *Guarijíos of the Sierra Madre: the Hidden People of Northwestern Mexico*. University of New Mexico Press, Albuquerque, Nuevo México, pp. 174-230.

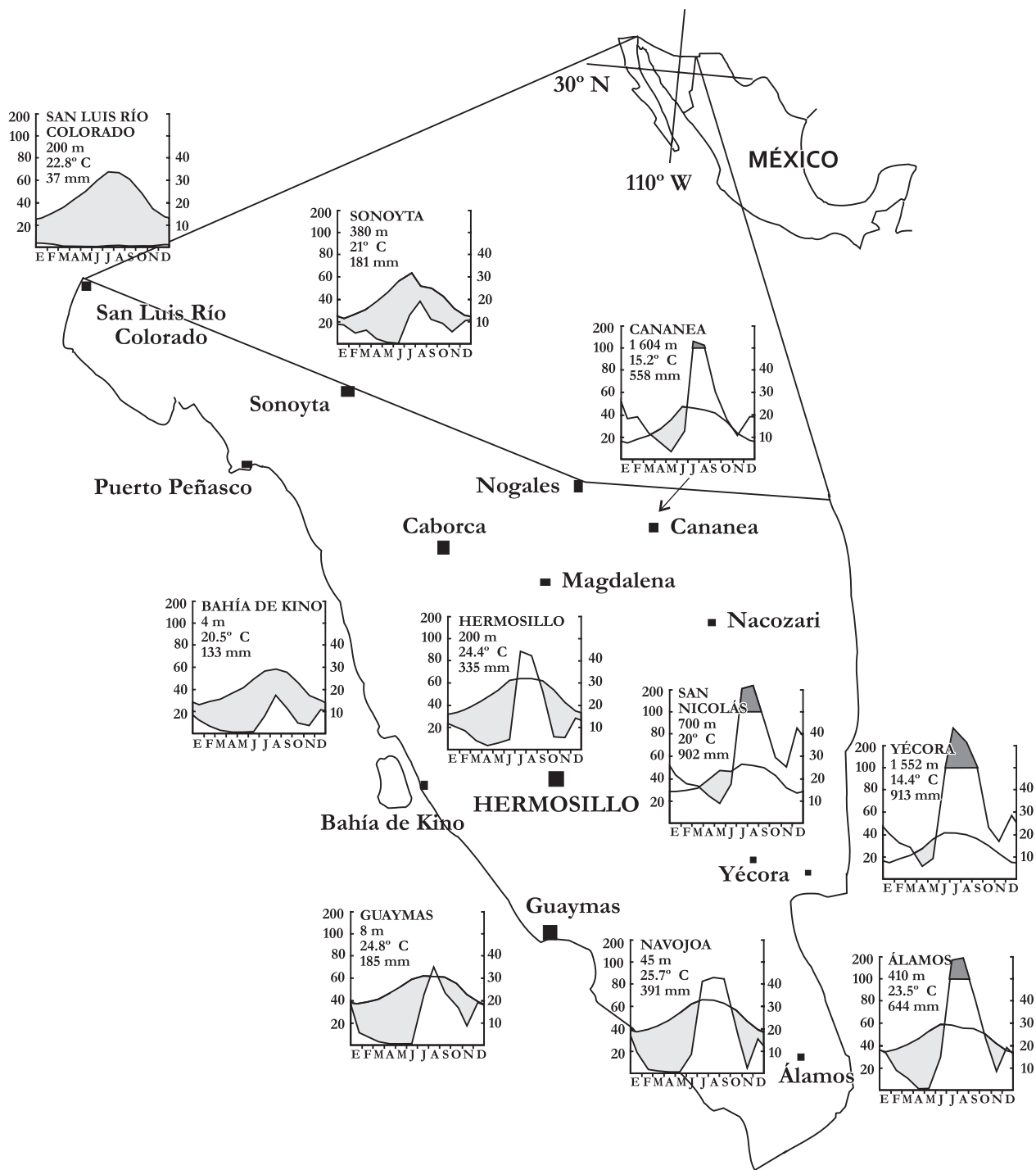


Figura 1. Climogramas ombrotérmicos que muestran la variación de la precipitación en Sonora, de norte a sur principalmente en la distribución estacional de la precipitación, y de oeste a este principalmente en la cantidad total de lluvia (datos de la Comisión Nacional del Agua, Hermosillo, Sonora, México). En gris claro se indica la temporada de déficit hídrico (sequía), en gris oscuro la temporada de superávit de agua (meses con una precipitación total de 100 mm o más) (modificado de Felger *et al.*, 2001).

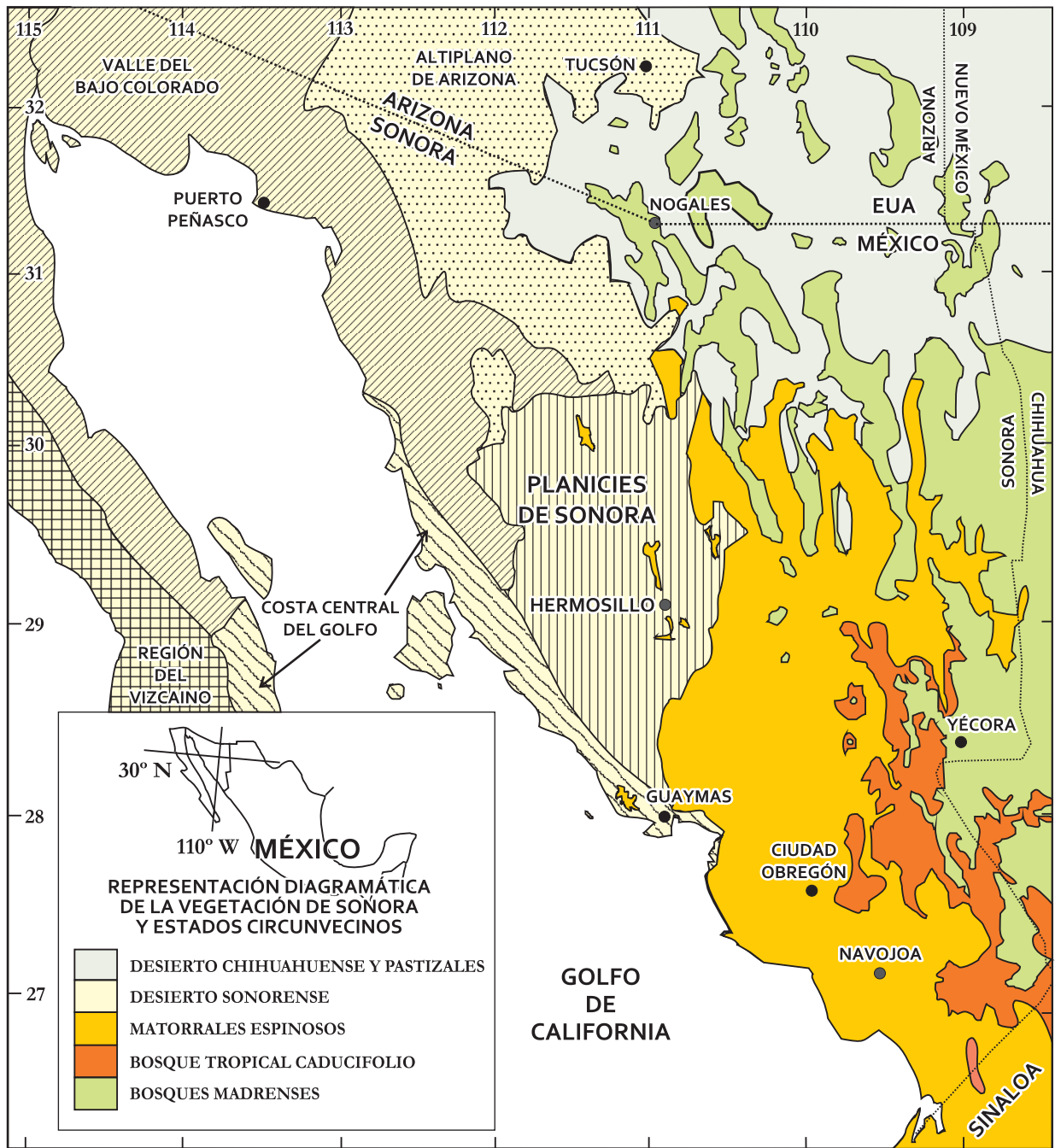


Figura 2. Distribución de los principales tipos de vegetación en Sonora, México. Para el bioma del Desierto Sonorense se indica la delimitación de cada una de las cuatro subdivisiones presentes en el estado (modificado de Felger *et al.*, 2001).



Figura 3. Vegetación de la subdivisión Valle del Bajo Río Colorado del Desierto Sonorense, Sonora. Dunas del Gran Desierto de Altar al oeste del escudo volcánico de El Pinacate, Sonora. Peter J. Grubb y Alberto Búrquez durante un extenso recorrido por la región a principios de octubre de 2003 (fotografía: A. Martínez-Yrizar).



Figura 4. Vegetación de la subdivisión Altiplano de Arizona del Desierto Sonorense en las inmediaciones de San Emeterio al este de Sonoyta, Sonora, con abundancia de *Carnegiea gigantea*, *Fouquieria macdo-galii* y *Parkinsonia microphylla* (fotografía: A. Búrquez).



Figura 5. Amplia planicie típica de la subdivisión Costa Central del Golfo del Desierto Sonorense de la región seri en el estero Santa Rosa al sur de Punta Chueca, Sonora. Al fondo predominan las cactáceas columnares como elemento distintivo de la región. Al frente, vegetación halófito de dunas costeras en transición hacia el manglar (fotografía: A. Búrquez).



Figura 6. Vegetación de las islas del Golfo de California. Isla Choyuda al noroeste de Bahía de Kino, Sonora. Bosque de cactáceas columnares con dominancia de *Pachycereus pringlei* (fotografía: A. Búrquez).

Figura 7. Manglares bordeando la línea de costa en el estero Santa Rosa al sur de Punta Chueca, Sonora. En el valle, al pie de las montañas al fondo, se muestra el paisaje característico de la subdivisión Costa Central del Golfo (fotografía: A. Búrquez).



Figura 8. Vegetación típica de la subdivisión Planicies de Sonora en el valle de La Pintada durante el verano, a 60 km al sur de Hermosillo (fotografía: A. Búrquez).

Figura 9. Piedemonte de Sonora en los cerros del rancho La Caridad a 15 km al norte de Hermosillo, Sonora. La alineación de la montaña en la fotografía es este-oeste. Nótese el efecto de ladera en la estructura del matorral de mayor cobertura en las laderas con orientación norte (fotografía: A. Búrquez).



Figura 10. Matorral costero en el sur de Sonora con dominancia de la cactácea columnar *Stenocereus thurberi*. Por su gran abundancia, a este matorral se le conoce localmente con el nombre de «El Pitayal» (fotografía: A. Búrquez).

Figura 11. Bosque tropical caducifolio en la sierra San Javier durante la época de lluvias. Se localiza por la carretera federal 16 a 140 km al este de Hermosillo, Sonora (fotografía: A. Búrquez).





Figura 12. Mosaico de vegetación en la Sierra San Javier, Sonora, que ejemplifica la distribución disyunta del bosque tropical caducifolio y del encinar; este último en los suelos ácidos de color rojizo, alterados por acción hidrotermal (fotografía: A. Búrquez).

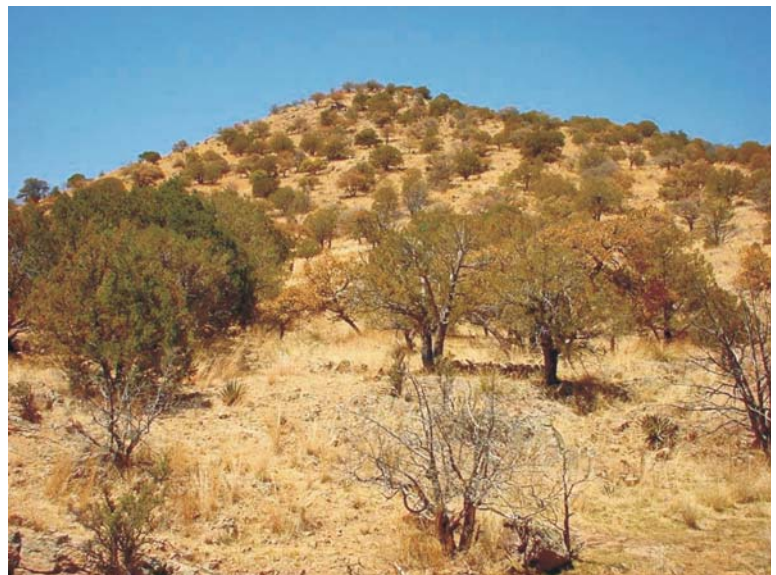


Figura 13. Bosque de *Quercus emoryi* («oak woodland») en las cercanías de Agua Prieta, Sonora, con un dosel abierto y un estrato herbáceo de gramíneas con evidencia de pastoreo (fotografía: A. Búrquez).



Figura 14. Bosque de encinos dominado por *Quercus chihuahuensis* en las cercanías de Bacadehuachi, en la sierra de Sonora (fotografía: A. Búrquez).

Figura 15. Bosque de pino-encino en las cercanías de Mesa de Tres Ríos, Sonora (fotografía: A. Búrquez).



Figura 16. Bosque de coníferas en cañada cerca de Mesa de Tres Ríos, Sonora. Nótese el bosque de encinos en las laderas de los cerros (fotografía: A. Búrquez).

Figura 17. Pastizal de altura madrense con bosque de coníferas en la frontera con Chihuahua, cerca del Pico de la India, Sonora (fotografía: A. Búrquez).





Figura 18. Pastizal de altura dominado por *Nolina texana* en el valle de las Ánimas al noreste de la sierra San Luis, en el noreste de Sonora (fotografía: T.R. Van Devender).

Figura 19. Vegetación del Desierto Chihuahuense en el noreste del estado en las cercanías de San Bernardino, Sonora (fotografía: A. Búrquez).



Figura 20. Pastizal inducido de zacate buffel en el área de Carbó a 50 km al norte de Hermosillo, Sonora. Un nuevo ecosistema sonorense de origen antrópico presente en prácticamente toda la subdivisión Planicies de Sonora del Desierto Sonorense (fotografía: A. Búrquez).



Figura 21. Paisaje altamente fragmentado por disturbio antropogénico, principalmente por desmontes para la siembra de zacate buffel al norte de Hermosillo, Sonora (fotografía: A. Búrquez).

IMPACTOS ECOLÓGICOS POR EL USO DEL TERRENO EN EL FUNCIONAMIENTO DE ECOSISTEMAS ÁRIDOS Y SEMIÁRIDOS

ALEJANDRO E. CASTELLANOS-VILLEGAS,¹ LUIS C. BRAVO,² GEORGE W. KOCH,³ JOSÉ LLANO,¹ DELADIER LÓPEZ,² ROMEO MÉNDEZ,⁴ JULIO C. RODRÍGUEZ,¹ RAÚL ROMO,⁵ THOMAS D. SISK³ Y GERTRUDIS YANES-ARVAYO⁶

RESUMEN. Los usos del terreno se han incrementado por las necesidades de la población y las presiones de los mercados (en apariencia apremiantes y a diferencia de usos tradicionalmente más extensivos) y son ahora más agresivos a los ecosistemas. La afectación de los ecosistemas tiene escalas temporales y espaciales diferentes a las de las políticas y variables socioeconómicas, por lo que el legado ecológico, determinado por los diferentes usos previos en el mismo terreno, se torna sumamente complejo. Mientras que las políticas de uso del terreno continúen sin considerar su efecto en el legado ecológico, y los criterios económicos desatenden los ecológicos, los costos futuros del uso del terreno resultarán en la disminución y pérdida de la biodiversidad y de procesos funcionales críticos de los ecosistemas.

Este capítulo trata sobre los impactos ecológico-funcionales por diferentes usos del terreno y describe las consecuencias sobre las especies y ecosistemas sonorense. En forma más específica se enfatizan los cambios por la ganadería e introducción del buffel en Sonora, y por la agricultura de riego. Se concluye con ideas sobre acciones a futuro que promuevan una visión más ecológica del manejo y uso sustentable de la biodiversidad y ecosistemas sonorense. El capítulo es una síntesis parcial del trabajo que estudiantes y colaboradores hemos desarrollado en los últimos treinta años para entender los ecosistemas áridos y semiáridos en la región central de Sonora, sus posibilidades de manejo y las consecuencias de los cambios y transformaciones debidos a su uso reciente.

ABSTRACT. Land uses have increased because population and market pressures and are more aggressive now to ecosystems. Ecosystem impacts have different temporal and spatial scales than policies and socioeconomic variables, and as such, their ecological legacy can turn into very complex interactions. As long as land use policies continue without considering the possible ecological legacy effects on ecosystems, and economics do not consider ecological criteria, future costs on land use will result in diminished and loss of biodiversity, and functional processes that are critical to the ecosystems.

This chapter deals with ecological and functional impacts in Sonoran ecosystems due to different land uses and their consequences upon species and ecosystems in Sonora. More specifically, we emphasize those changes brought by cattle-grazing and buffel grass introduction to Sonora, as well as irrigation agriculture. We conclude with some ideas regarding future activities that will help promote a more ecological perspective for sustainable use and management for Sonoran biodiversity and ecosystems. The chapter represents a short synthesis of work, developed with help of students and colleagues over the past thirty years, focused on understanding how arid and semiarid ecosystems in Central Sonora work, can be managed and the ecological and functional impacts of their recent changes and transformations.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales prístinos son cada vez más escasos. Debido al incremento en el uso de los ecosistemas, las determinantes socioeconómicas han adquirido una dimensión de gran importan-

¹ Universidad de Sonora.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

³ Northern Arizona University.

⁴ Comisión Nacional Forestal.

⁵ University of Arizona.

⁶ Universidad de la Sierra.

cia en relación a su impacto en la biodiversidad y funcionamiento del ecosistema y los servicios que proveen (Stafford-Smith y Reynolds, 2002). Dados los intereses y necesidades socioeconómicas de cada época, los impactos del uso de los ecosistemas reflejan la competencia y compromisos de la sociedad, la visión y perspectiva de los propietarios y tomadores de decisiones, así como el capital y legado ecológico de las diferentes historias y formas de uso del terreno.

La mayoría de los estudios sobre el uso de los ecosistemas actuales los consideran como si fueran prístinos y no toman en cuenta procesos acumulados y superimpuestos a su estructura y funcionamiento resultantes de la historia de su uso, esto es, su legado ecológico (Foster *et al.*, 2003; Peters y Havstad, 2006). El legado ecológico es determinante de que dos ecosistemas similares difieran en sus características funcionales, aun sin presentar grandes diferencias estructurales, lo que modifica sus características de resistencia y resiliencia a un uso del terreno específico y determina su continuidad funcional o estados estables y transicionales (Walker

et al., 2002) y los diversos grados de deterioro que presentan.

Así, ecosistemas sonorenses similares pueden presentar diferentes legados ecológicos, toda vez que han sido utilizados de varias y diversas maneras a través de su historia (figura 1), afectando con cada uso distintas escalas de su biodiversidad, de su estructura y de su funcionamiento, lo que ha dado por resultado un mosaico muy complejo de funcionalidad. En virtud de lo anterior, no es difícil encontrar en nuestro estado ejemplos en donde el mismo terreno ha sido utilizado para sustentar ganadería extensiva o para la tala selectiva de especies para combustible o con fines comerciales, que posteriormente han sido desmontados para introducir pastos exóticos y, en años recientes, excluido el pastoreo para establecer ranchos cinegéticos o Unidades de Conservación y Manejo Sustentable de la Vida Silvestre (Castellanos, 1992; Castellanos *et al.*, 2002; Semarnat, 2002; Sisk *et al.*, 2007), siempre teniendo como común denominador razones socioeconómicas.

Recientemente se ha desarrollado el concepto de

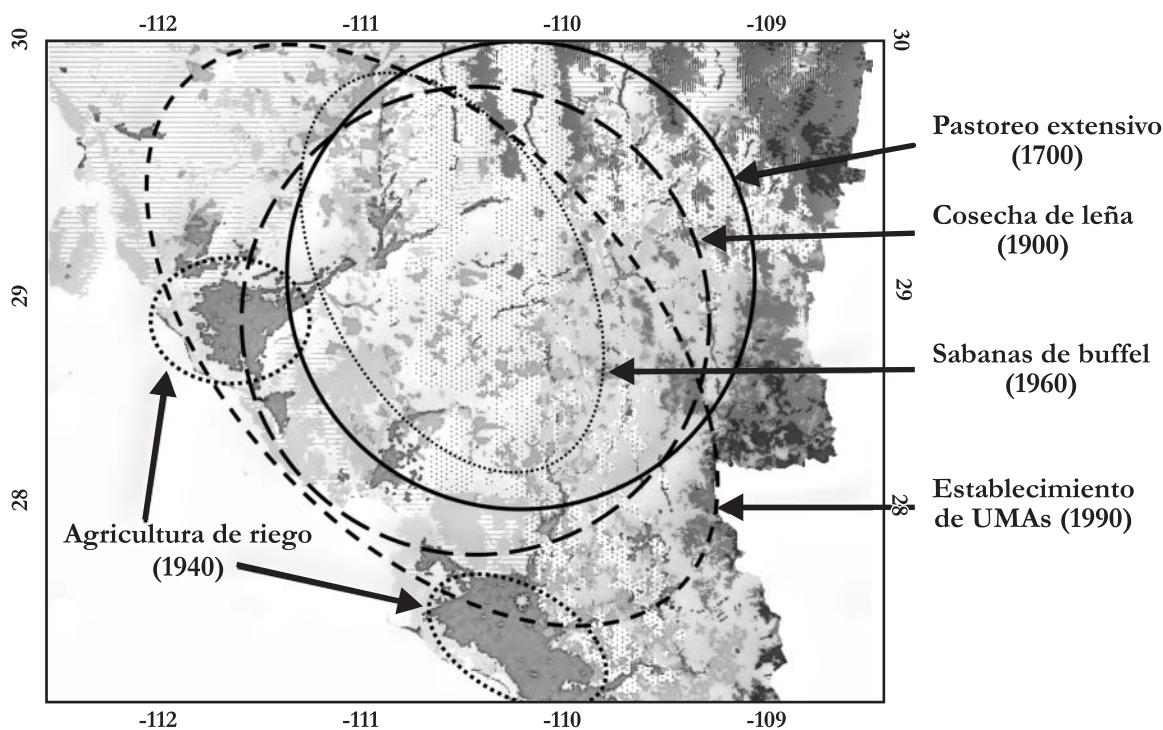


Figura 1. Localización, épocas y sobreposición de usos del terreno en la región central árida y semiárida de Sonora.

controladores en el uso del terreno (Bürgi *et al.*, 2004; Hobbs y Norton, 2004), los cuales pueden ser de índole socioeconómica, biológica o biofísica. El legado ecológico dependerá del impacto que los controladores tengan sobre las **variables lentas** que determinan el funcionamiento del ecosistema a diferente escala (Stafford-Smith y Reynolds, 2002). Las presiones económicas representan los controladores socioeconómicos; sus efectos son evidentes al afectar las variables lentas del ecosistema que más tiempo requieren para recuperarse, sean biológicas, físicas, estructurales o funcionales (Castellanos *et al.*, datos no publ.; figura 2). A escala de un sitio, las variables con la tasa de cambio más lenta determinarán la dinámica, y aquéllas con el umbral crítico más bajo, afectarán la resiliencia del ecosistema, con lo que se determinan los cambios en los estados estables y dinámicas de transición del ecosistema (Abel *et al.*, 2000; Fernández *et al.*, 2002; Sala *et al.*, 2000; Walker y Meyers, 2004).

Un cambio en los controladores, por ejemplo, presión socioeconómica para cambiar el uso del terreno en un predio de extracción para carbón a ganadería extensiva, modificará el funcionamiento del ecosistema al pasar de un uso controlado por las variables lentas relacionadas con el establecimiento y crecimiento de la población de especies leñosas, a uno determinado por la velocidad de descomposición y reciclaje de nutrientes de especies anuales y de pastos, lo que pudiera afectar la homogeneidad en la distribución y disponibilidad de nutrientes y la productividad de especies. En ambos casos, la determinación de las variables lentas relacionadas con un determinado uso actualmente sólo es especulativa y requiere ser determinada en cada caso. Por ejemplo, es casi paradigmática la idea de que bajo condiciones excepcionales de precipitación es cuando se generan las mayores tasas de establecimiento de especies leñosas en ecosistemas áridos (Shreve, 1917). No obstante, esta sola ex-

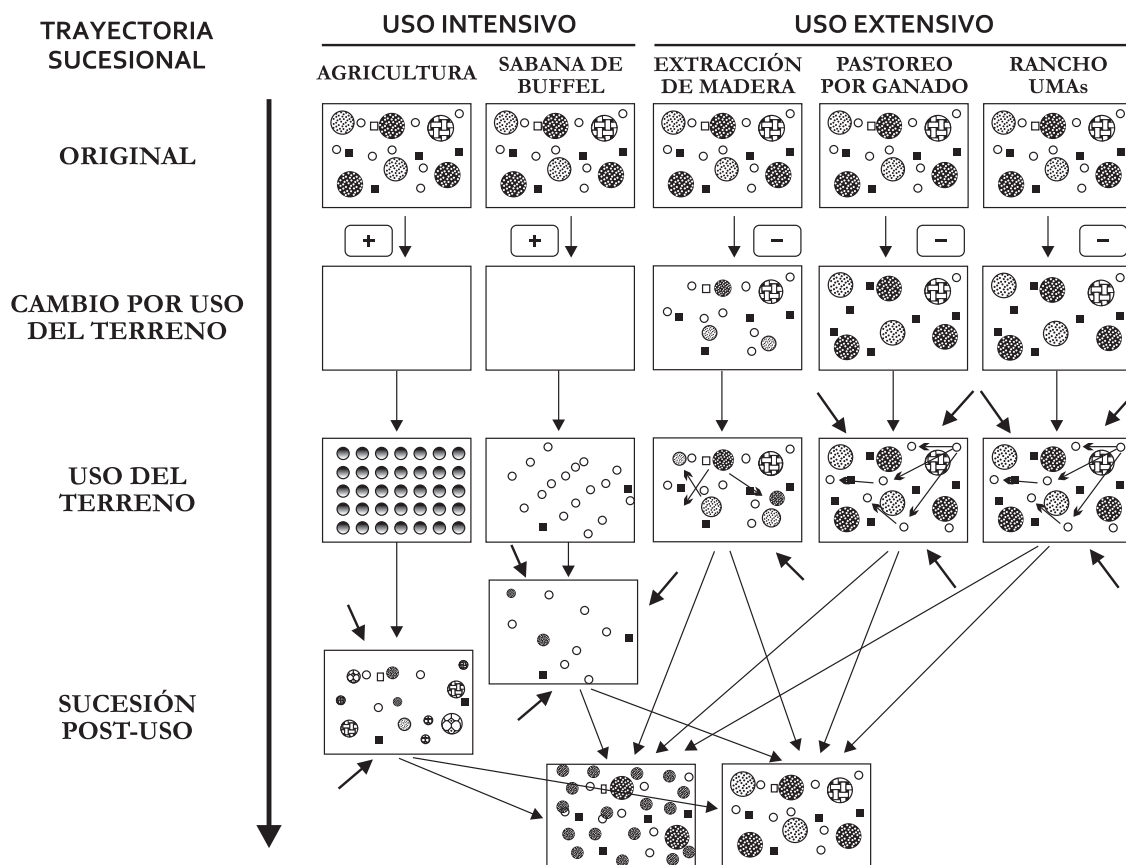


Figura 2. Controladores y variables involucradas en la dinámica a escala de parcela en los procesos de desertificación (A.E. Castellanos, J. Gutiérrez y E. Martínez-Meza, no publicado).

plicación no considera el papel determinante que puede jugar la herbivoría y en particular la interacción disponibilidad de agua-herbivoría (Castellanos y Molina-Freaner, 1990; Gutiérrez *et al.*, 2007; Wise y Abrahamson, 2007) en el ensamblaje de los ecosistemas áridos (Méndez y Castellanos, en prep.).

Este esquema de controladores y variables lentas y rápidas funciona en las diferentes escalas y ayuda a entender los impactos y el legado ecológico por el uso del ecosistema. Así pues, un nuevo uso del terreno (cambio en los controladores socioeconómicos), dado el legado ecológico de usos anteriores, no inicia a partir de las características estables del ecosistema prístino, sino a partir de algún punto en una trayectoria ecológica actual relacionada con el uso y condiciones ambientales antecedentes, lo que dificulta enormemente el poder predecir la nueva dinámica, trayectoria y resultado final de la última intervención. Esto es más cierto aun en el caso de los ecosistemas de Sonora, en los que una base de conocimiento básico, funcional, de sus variables de estado y condición de sus controladores, existe en forma fragmentada, parcial y escasa.

ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS Y USO DEL TERRENO EN SONORA

Sonora se ubica entre los 32° 29' y 26° 18' latitud Norte y los 108° 25' y 115° 03' longitud Oeste. El estado tiene características desérticas en su porción centro-norte debido al patrón general de circulación atmosférica de la celda de Hadley, que son vientos descendentes secos y calientes provenientes del trópico por efectos adiabáticos de incremento de temperatura del aire. En cuanto a su precipitación, poco más de 94% del territorio corresponde a climas semisecos a secos con precipitaciones que van de menos de cincuenta milímetros en el noroeste del estado a poco más de seiscientos milímetros en el centro-este del estado. Como resultado, Sonora posee climas seco-cálido y semiseco-semicálido en más de tres cuartas partes de su territorio (70.4%), con sólo 12.3% del territorio como templado (INEGI, 2007).

Gran parte de la cubierta vegetal del estado de Sonora ha sido utilizada en alguna forma. Estimaciones del inventario nacional forestal muestran que más de 15% de la cubierta vegetal en la entidad presenta impactos por uso del terreno que resultan en cambios visibles en su estructura. Dada la escala de análisis, la intensificación del uso de los ecosistemas en los últimos años, la baja intensidad de verificación de campo y el número de años que ha transcurrido desde que se efectuó el estudio, es seguro que esa estimación ha sido ampliamente rebasada.

La intensidad de uso varía con la región del estado, el tipo de actividad y su historia de uso. Por ejemplo, hasta los años setenta gran parte de los ecosistemas desérticos hacia la costa de Sonora permanecían inalterados a la vista, excepto por las grandes zonas agrícolas. En cambio, la región centro-este había sido utilizada en forma extensiva para ganadería hace ya varios siglos e intensivamente en algunas explotaciones forestales, presentando en algunos sitios evidencias de pérdida de suelo por denudación de la cubierta vegetal. Los tipos de cubierta vegetal que se señalan en el inventario con el mayor impacto, son, en orden decreciente, los bosques de encino y mezquiales (31 y 22% respectivamente), el matorral subtropical (13.3%) y sarcocrasicaulescentes con casi nueve por ciento (Conafor, 2000); sin embargo, es probable que los bosques de pino-encino deban ser consideradas dentro de las cubiertas vegetales con fuertes impactos, incluso históricamente.

Las actividades productivas del sector agropecuario, silvícola y pesquero en su conjunto, que utilizan con mayor intensidad los ecosistemas sonorenses y sus recursos naturales, aportan 6.8% del producto interno bruto (PIB) estatal (INEGI, 2007). Es interesante que actividades como agricultura y ganadería, que han sido las dos actividades de uso del terreno de mayor tradición en el estado, actualmente no aparecen dentro de las 15 ramas económicas principales, a pesar de su importancia en la relación de poderes e identidad que representan para el estado de Sonora, pero sobre todo por el impacto ecológico que han ejercido sobre el terreno.

Aunque de menor importancia económica en el estado por su extensión boscosa, la producción forestal en bosques templados se ha incrementado para pino (18 899 m³ rollo), pero ha disminuido para encino en casi un cincuenta por ciento –61 985 m³ rollo– (INEGI, 2007). Igualmente, se ha incrementado la producción forestal de no maderables, en donde se incluye una gran cantidad de especies desérticas y de selva baja –21 379 toneladas en 2003– (INEGI, 2007), aunque seguramente no se encuentran contabilizadas de manera exhaustiva (INEGI, 2007). Tal es el caso de la extracción de madera y carbón, este último para exportación, y cuyas cifras son prácticamente desconocidas en México, aunque hay inferencias basadas en los registros de importación de carbón a Estados Unidos que la ubican entre diez mil y dieciocho mil toneladas entre 1990 y 2002 (Taylor, 2006).

En la última década, la economía del uso del terreno se ha incrementado sustancialmente con dos actividades: fauna cinegética y acuacultura. A partir del cambio en la Ley General de la Vida Silvestre en los años noventa, destaca la inversión en ganadería alternativa y caza cinegética con 6.6% de la inversión directa de capital extranjero, que en este lapso captó un total de 116.6 millones de dólares, mientras que las proyecciones del sector buscan su incremento a más de quinientos millones de dólares anuales para 2009 (Cibermirón, 2004).

La acuacultura, tan sólo en los últimos 5-10 años, ha aumentado su extensión sobre las regiones costeras del centro al sur del estado aproximadamente en veinte mil hectáreas, en gran medida sobre ecosistemas de manglares y desérticos costeros. La actividad se desarrolla en granjas en ocasiones de cientos de hectáreas en las regiones costeras, las cuales llegan a extenderse con sus obras de estanquería varios kilómetros tierra adentro. La camaricultura en el estado de Sonora supera casi cuatro veces en importancia económica a la actividad camaronícola de mar abierto y generó un ingreso estatal superior a 2.5 billones de pesos en 2005 y superior a tres billones de pesos en el ciclo 2006-2007 (Conapesca, 2005; Sagarhpa, 2007), lo que seguramente obligará a considerar con ma-

yor cuidado sus impactos ecológicos en los sistemas aledaños, que han demostrado ser determinantes en el éxito o fracaso de estas operaciones en otros países.

IMPACTO DE LOS DIFERENTES USOS DEL TERRENO EN EL FUNCIONAMIENTO Y DIVERSIDAD VEGETAL DE LOS ECOSISTEMAS

Los cambios en el uso del terreno, dependiendo de su grado de disturbio, impactan la abundancia y diversidad de especies y tipos funcionales, el funcionamiento y flujos de masa y energía y la estructura, y los servicios que prestan los ecosistemas. Por ejemplo, el disturbio puede inducir cambios en la estructura, atributos foliares y estrategias de crecimiento de las especies, que determinan las características, ciclos biogeoquímicos y funcionamiento de los ecosistemas (Chapin *et al.*, 2002). En el caso de los ecosistemas sonorenses, su funcionamiento ha sido afectado a diferentes escalas por las décadas y siglos durante los que han sido utilizados, así como por las dimensiones de la perturbación de las formas de uso del terreno más recientes. Podemos diferenciar los usos del terreno en intensivos y extensivos, dado su impacto en la biodiversidad y el grado de transformación (estructural y funcional) del ecosistema por unidad de superficie y tiempo (figura 3). En virtud de las características productivas, así como de las condiciones climáticas que clasifican 70.4% de la superficie del estado como seco-cálido a semisecco-cálido, los usos del terreno en el estado fueron históricamente, e inicialmente, en su mayoría extensivos.

Una escasa productividad primaria es la característica de los ecosistemas áridos y semiáridos sonorenses, aunque como se ha visto en la agricultura de riego, éstos pueden lograr una alta productividad al suministrarse recursos adicionales. Los bajos niveles de productividad limitan las posibilidades de uso y la capacidad de carga de estos ecosistemas. Sin embargo, los impactos de uso han sido menos evaluados en relación con su efecto sobre su funcionamiento que sobre la biodiversidad.

DIVERSIDAD VEGETAL EN SONORA

Aunque este apartado es ampliamente tratado en otros capítulos del libro, es necesario resaltar aquí algunas relaciones importantes de la biodiversidad en la transformación de la cubierta vegetal en el estado de Sonora.

Las regiones áridas y semiáridas de Sonora se caracterizan por una cantidad importante de especies arbóreas, a diferencia de otros ecosistemas con condiciones similares de aridez en el país y en el mundo (Turner *et al.*, 1995). Aunque diversas hipótesis se han planteado para explicar esta condición característica del Desierto Sonorense, es posible que contribuyan tanto la presencia de un régimen de lluvias biestacional (verano e invierno), así como la ecotonía biogeográfica de elementos florísticos y faunísticos de origen neártico y neotropical sobre el territorio sonorense (Castellanos, 1992; Rzedowski, 1978). Es común observar que algunas de las especies arbóreas dominantes en ecosistemas

áridos extiendan su distribución a ecosistemas subtropicales adyacentes hacia el este y sur del estado.

Una característica de gran importancia de los ecosistemas sonorenses es su endemismo y sus límites de distribución de especies neárticas y neotropicales en la región central de Sonora (Turner *et al.*, 1995), probablemente relacionada, en gran medida, con su ecotonía biogeográfica. En esta región central de Sonora la diversidad vegetal puede ser alta en los ecosistemas de Selva Baja Caducifolia o baja en los del Desierto Sonorense; sin embargo, en ambos casos poseen una importante proporción de especies endémicas cuyo límite de distribución austral o septentrional se encuentra en esta región sonorense (Brown, 1982; Rzedowski, 1978; Shreve, 1951; Turner *et al.*, 1995). En los ecosistemas templados de la región central de Sonora existen evidencias de la relación entre ecotonía biogeográfica y endemismo, como es el caso de una de las más grandes concentraciones de especies de *Pinus* en México (aproximadamente 17 taxo-

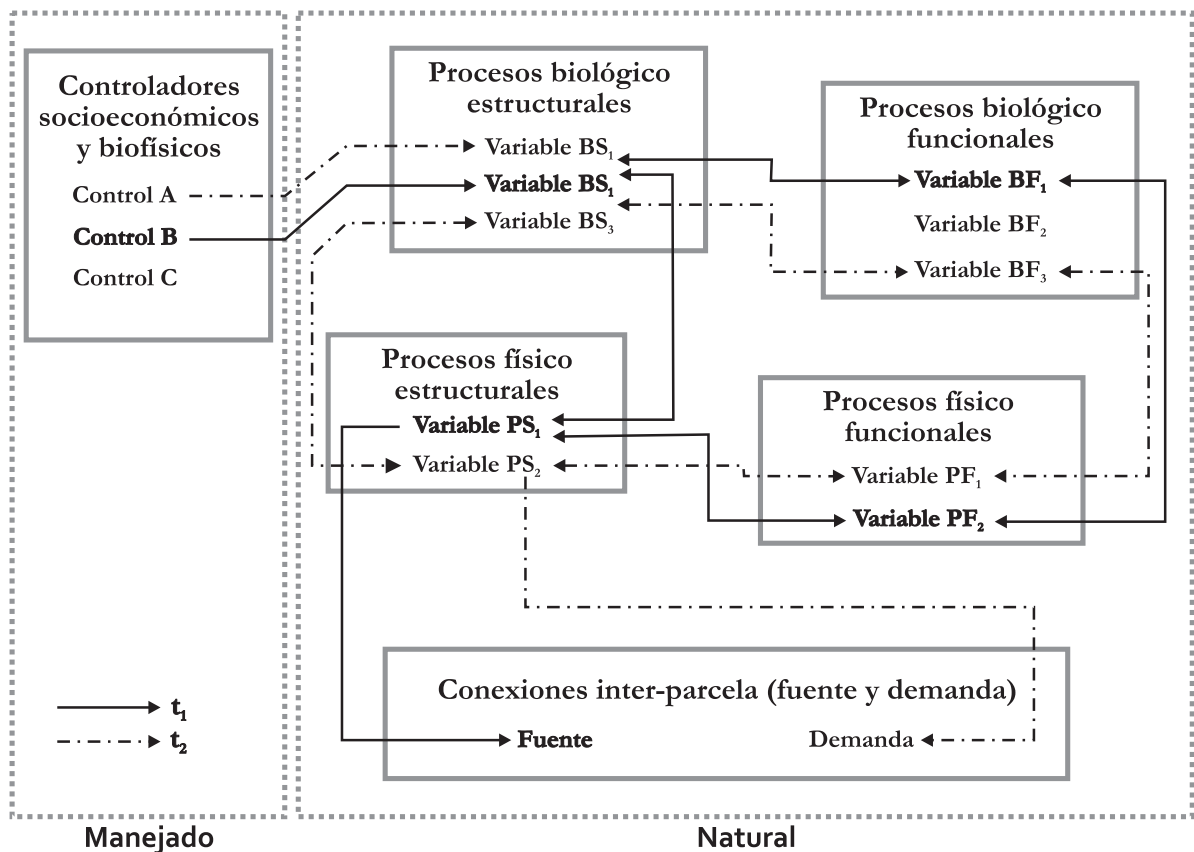


Figura 3. Esquematización de los efectos sobre la dinámica de la cubierta vegetal por los usos intensivos y extensivos del terreno.

nes), ubicada en la región de Yécora-Maycoba en Sonora y la adyacente de Chihuahua (Castellanos, 1990), aunado al gran número de endemismos por unidad de superficie que existen en estos ecosistemas templados en el país (Rzedowski, 1993).

La utilización del terreno y de la cubierta vegetal sonorenses se enmarca, pues, en los posibles grandes o pequeños impactos del uso del terreno sobre una biodiversidad y endemismos únicos y sobre una estructura y funcionamiento de los ecosistemas poco conocidos y entendidos y a los cuales se superpone un legado ecológico sólo considerado ocasionalmente.

USOS EXTENSIVOS: GANADERÍA

El principal uso desde la colonización de esta región por los españoles a fines del siglo XVIII ha sido la ganadería continua en la región central y noreste de Sonora, extendida luego hacia el sureste y, a fines del siglo XIX, hacia la región más desértica en el oeste del estado (Baroni, 1992; Camou, 1990). Según crónicas de los primeros misioneros en Sonora, los inicios de la actividad ganadera se ubican en las primeras décadas del siglo XVI (Pfefferkorn, 1989). Es probable que la ganadería en Sonora haya iniciado en regiones ecotonales de pastizales semiáridos con matorrales subtropicales y en los límites más septentrionales de la selva baja caducifolia. Algunas relaciones del siglo XVI referentes al desarrollo de la ganadería en la región central de Sonora, en la antigua Ostimuri, hoy región de Moctezuma y Arizpe, mencionan hatos de varios cientos de miles de cabezas de ganado –que eventualmente eran llevados hasta la ciudad de México (Camou, 1991), en lo que antes parecerían ser pastizales semiáridos en terrenos profundos y matorrales espinosos y encinales abiertos en suelos menos profundos y laderas, hoy convertidos en matorrales semidesérticos (Castellanos, obs. pers.). Consideraciones históricas, climáticas y remanentes de estos pastizales, que pudieron haber estado más ampliamente distribuidos al sureste de Moctezuma (Marshall, 1957), sugieren mayor amplitud en la

distribución de pastizales semiáridos y en el sotobosque de matorrales y encinales.

Con la pacificación de los apaches en el siglo XIX surgió la posibilidad de colonizar la región noreste del Estado y la ganadería se extendió entonces hacia esa región de pastizales semiáridos (McClaran y Van Devender, 1995). Expedicionarios de la región describen pastizales inmensos y de gran vigor que llegaban incluso a la altura de la montura (Lejeune, 1995), probablemente refiriéndose a especies como *Sporobolus airoides*. No es casual que en esta región sonorenses y alrededor de la actividad ganadera se hayan desarrollado las familias y centros de mayor poder en el estado, como lo muestran los conflictos por la posesión de estas tierras desde inicios de la colonización. No es tampoco casual que una de las compañías más importantes, la Cananea Cattle Company, uno de los hitos de mayor importancia en la actividad ganadera en Sonora, se haya desarrollado en esta región de pastizales semiáridos, hoy desertificada en gran medida (Bahre y Bradbury, 1978; Bahre y Shelton, 1993).

Los ecosistemas de pastizales semiáridos naturales cubren actualmente una superficie de alrededor de 2.28 millones de hectáreas, que varía según la fuente de consulta (INEGI, 2006). La actividad ganadera se considera como una de las que mayor impacto producen sobre la cubierta vegetal. El uso continuo y la alta presión de pastoreo sobre los ecosistemas de pastizales semiáridos han sido propuestas como las principales causas del debilitamiento y desaparición de algunas especies de pastos nativos y de la invasión de especies leñosas, lo que ha provocado la degradación irreversible de esos ecosistemas. Esta degradación a matorrales desérticos a finales del siglo XIX ha sido ampliamente documentada en ecosistemas adyacentes a la actual frontera con Estados Unidos (Archer *et al.*, 1995; Bahre y Shelton, 1993; Bahre y Bradbury, 1978; Buffington y Herbel, 1965; Van-Auken, 2000).

El uso prolongado del terreno por la ganadería ha resultado, según los monitoreos desarrollados por la Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero (Cotecoca), en la compactación del suelo, la dis-

minución de su productividad, la pérdida de vigor y desaparición de especies forrajeras y palatables para el ganado (pastos, subarbustos y arbustos), cambios en su dominancia y disminución en la capacidad de carga de los diferentes ecosistemas del estado (Aguirre-Murrieta *et al.*, 1974; Cotecoca, 1973). En los ecosistemas áridos y semiáridos sonorenses en los que se ha desarrollado una ganadería extensiva la presión de pastoreo ha disminuido algunas especies «palatables» (Cotecoca, 1973). Estos cambios en la riqueza y diversidad de especies vegetales a lo largo de décadas o siglos de uso pudieran haber impactado la dinámica de las poblaciones, directa o indirectamente, por herbivoría o disminución en reclutamiento, modificando también la composición de tipos funcionales, los atributos de las especies y, consecuentemente, las características estructurales y funcionales de los ecosistemas con manejo ganadero (Adler *et al.*, 2004; Aguiar *et al.*, 1996; McIntyre y Lavorel, 2001; McNaughton *et al.*, 1983; Sperry *et al.*, 2006). Asimismo, se ha observado en otros ecosistemas que el uso continuo y extensivo ha sido factor determinante de la pérdida selectiva de las especies más palatables, de cambios en la dominancia de especies, de modificación de los patrones de infiltración de agua (Van de Koppel y Rietkerk, 2004; Van de Koppel *et al.*, 2002) y del incremento de la heterogeneidad en la distribución de nutrientes en el suelo, con lo que se ha inducido su concentración en islas de fertilidad (García-Moya y McKell, 1970; Garner y Steinberger, 1989), características de los ecosistemas degradados y desertificados (Schlesinger *et al.*, 1990, 1996 y 1999).

Una hipótesis poco explorada aún es la posibilidad de que la degradación tan prolongada que existe hoy en esas regiones sea el efecto sinérgico de una presión de pastoreo significativa, potenciada por la presencia de períodos prolongados de sequía, que habrían disminuido la capacidad compensatoria del pastizal bajo condiciones de limitación de agua y otros recursos. Hasta mediados de los años sesenta existía la percepción de que la ganadería en Sonora no había impactado fuertemente los ecosistemas semiáridos que la han sustentado.

Entre las hipótesis que se han aducido en apoyo a esta idea de impacto relativamente menor, se menciona la posible preadaptación de los ecosistemas sonorenses al pastoreo por grandes mamíferos (Donlan y Martin, 2004) y las bajas densidades de ganado manejadas extensivamente. Al igual que la presencia de sequías importantes a mediados y fines del siglo XIX, hubo períodos importantes de sequía en la década de los años cincuenta del siglo XX (Seager *et al.*, 2007) y sin embargo la densidad de ganado se intensificó motivada por demandas de mercado internacional (Perramond, 2004). En los años sesenta, sin haberse probablemente recuperado los ecosistemas, el incremento en el hato ganadero fue del cincuenta por ciento y se duplicó en los años setenta en relación con décadas anteriores, lo que habla de una política de uso del terreno sin relación con las condicionantes ambientales que influyen sobre la productividad del ecosistema. Este aumento en el hato ganadero sin consideración de las condicionantes productivas de los ecosistemas pudo haber actuado en forma sinérgica y potenciado el acelerado debilitamiento de las especies nativas y la degradación de los pastizales semiáridos de Sonora y del norte de México. Este legado ecológico de degradación y propensión a la invasión por leñosas y pastos exóticos de los pastizales semiáridos y agostaderos sonorenses pudiera explicarse en base a este efecto sinérgico de limitación de recursos debido a la interacción sequía-presión por herbívoros como factor determinante en el establecimiento y la mortalidad de especies nativas (Wise y Abrahamson, 2005 y 2007) y no sólo por el efecto del sobrepastoreo *per se*.

La exploración a mayor detalle de los mecanismos determinantes del cambio tecnológico en la ganadería sonorensis pudiera ser reveladora. Si la ganadería pudo beneficiarse por siglos por una preadaptación de las especies al pastoreo por condiciones climatológicas relativamente favorables, por un uso y una carga animal adecuada en los ecosistemas o por una lenta disminución en su capacidad productiva y acumulación de sus efectos, esto debería influenciar el diseño de políticas de manejo y uso de los ecosistemas áridos.

GANADERÍA INTENSIVA: INTRODUCCIÓN DE BUFFEL

La intensificación y cambio en la utilización de los ecosistemas sonorenses por la ganadería –cambio en el paquete tecnológico agropecuario– se justificó en base a una disminución de la productividad del agostadero, sin embargo, pudiera obedecer más a la modificación en los patrones de exportación al mercado internacional.

Este proceso de modificación tecnológica del agostadero se inicia en las décadas de los años cincuenta y sesenta e incluye mayor intensificación de uso y manejo del potrero y una sustitución del hato ganadero por razas de mayor conversión y rendimiento (Camou, 1990 y 1991). Esta transferencia tecnológica a los ecosistemas áridos sonorenses, intrínsecamente poco productivos por unidad de terreno, seguramente evidenció en forma inmediata la necesidad de suplementar la productividad de los agostaderos para hacer factible el nuevo sistema de intensificación productiva, aunque esto se justificó como consecuencia de la degradación por el pastoreo previo (Aguirre-Murrieta *et al.*, 1974; Cotecoca, 1973).

La justificación para un mayor manejo sobre los ecosistemas también se ha hecho evidente en las estadísticas oficiales. Según éstas, la superficie considerada como agostadero en el estado era de aproximadamente 4.37 millones de hectáreas en 1940, pero a partir de 1980 se modifican las estadísticas y se consideran oficialmente casi 15.7 millones de hectáreas (84% del territorio) como superficie de agostadero, prácticamente todo el estado (INEGI, 2006). Es posible que estas estadísticas hayan sido modificadas para justificar el incremento al doble del hato ganadero que se dio entre los años sesenta a noventa (1.6 millones de cabezas), a pesar de la disminución en los coeficientes de agostadero que ya se venían observando a escala estatal.

El establecimiento de sabanas de buffel

El buffel (*Pennisetum ciliare* = *Cenchrus ciliaris*) se introdujo en Sonora como justificación a la dismi-

nución en los coeficientes de agostadero y a la necesidad de aumentar la baja productividad intrínseca de los ecosistemas sonorenses utilizados en la ganadería y el deterioro y disminución de especies palatables (Aguirre-Murrieta *et al.*, 1974; Cotecoca, 1973 y 2002). Aunque en algunos ranchos está presente desde la década de los años cincuenta, fue en la década de 1960 cuando el buffel, un zacate exótico nativo de Asia y África, fue introducido en forma masiva utilizando variedades desarrolladas en Texas (Alcalá-Galván, 1995; Johnson y Aguayo, 1973; Patrocipis, 1995; Ramírez *et al.*, 1981; Servín y Ramírez, 1981).

Junto con la introducción de buffel hubo cambios importantes en el manejo del hábitat utilizado como agostadero y, particularmente, en la composición del hato de ganado, ya que se introdujeron nuevas razas y cruza y se modificó el sistema productivo ganadero y los cultivos asociados a la actividad (Camou, 1990; Pérez y Camou, 2004). Ambas introducciones modificaron la ganadería sonorenses de su forma tradicional y extensiva a una intensiva y enfocada al mercado internacional, lo que parece indicar que el cambio en el esquema productivo ganadero respondió en gran medida a las nuevas condiciones del mercado y no sólo a la disminución en los coeficientes de agostadero. La época en que detona el incremento en la superficie sembrada con buffel en todo el estado fue en la década de los años ochenta y principios de los noventa (Castellanos *et al.*, 2002; Yanes, 1999).

Impactos ecológicos en sabanas de buffel

La introducción de buffel ha tenido consecuencias evidentes en la estructura del paisaje, pero menos conocidos y cuantificados han sido los impactos ecológicos en el funcionamiento y dinámica de los ecosistemas de Sonora. Los impactos han sido resultado de la aplicación de un paquete tecnológico de manipulación y adecuación de los ecosistemas naturales del cual se desconocen aún de manera importante las consecuencias ecológicas. Algunos de los impactos ecológicos analizados en este apartado resultan del estudio comparativo de ecosiste-

mas naturales con modificados para entender así los cambios funcionales y las consecuencias en el manejo de los ecosistemas sonorenses.

Estructura del paisaje

La siembra de buffel involucró primero la creación de pastizales monoespecíficos, en similitud a la agricultura intensiva, mediante la remoción total de la cubierta vegetal, y sólo años después el paquete tecnológico asociado a su siembra se modificó para tratar de mantener durante el desmonte algunas especies arbóreas (creación de sabanas). Estos cambios técnicos no respondieron a consideraciones o mejor entendimiento del funcionamiento del ecosistema, sino a la necesidad de contar con sitios de sombra y protección para el ganado durante las épocas y horas de clima árido extremo, esto es, para corregir un error en la adopción del paquete tecnológico original.

Un efecto evidente debido al desmonte para la siembra de buffel fue el cambio de la estructura de la vegetación y la diversidad de especies (Saucedo-Monarque, 1994; Saucedo-Monarque *et al.*, 1997). La diversidad de especies vegetales disminuye en forma considerable poco después del desmonte, aunque aparentemente puede incrementarse durante la fase de reestablecimiento natural de especies y con el paso del tiempo. La inducción de diferentes estados sucesionales de la vegetación debido a los parches (parcelas) de diferente edad y tamaño, aunque no totalmente estudiada en el paisaje de los ecosistemas sonorenses, parece iniciarse relativamente rápido. Aunque, dependiente de la condición y manejo del sitio, la riqueza o diversidad de especies de plantas puede llegar a recuperarse, pese a que la proporción o valor de importancia de las mismas y algunos componentes estructurales específicos, como trepadoras, pueden llevar períodos mucho más largos, sin llegar a recuperar su dominancia original en varias generaciones.

Un número importante de las formas de crecimiento dominantes en las asociaciones vegetales del Desierto Sonorense en la región central de Sonora son arbustos y árboles de las leguminosas, algunos posiblemente fijadores de nitrógeno. Poste-

rior a un desmonte, la frecuencia de árboles y arbustos disminuye drásticamente y se incrementan las subarborescentes, herbáceas y buffel (Saucedo-Monarque, 1994; Saucedo-Monarque *et al.*, 1997). Sabanas de buffel de veinte años o más van incrementando la frecuencia de arbustivas y arbóreas, en función del tipo de desmonte, la intensidad del pastoreo y la edad de la sabana (Romo, 2006; Saucedo-Monarque *et al.*, 1997), detectándose menor riqueza de especies con pastoreo intenso. Es común en sitios sembrados con buffel y gran carga animal o sobrepastoreo la pronta invasión por chírahui (*Acacia cochliacantha*), una leguminosa posiblemente fijadora de nitrógeno, de elevadas tasas fotosintéticas, rápido crecimiento y establecimiento inicial. El funcionamiento y descripción sucesional de los sitios invadidos de esta forma no se han estudiado en detalle, pero debido al porte de grandes espinas de la especie, parecen facilitar la sucesión vegetal. Algunos autores no consideran que en sitios más áridos la aparición de *A. cochliacantha* inicie la sucesión; no obstante, nuestras observaciones muestran lo contrario entre los 300 y 500 mm (Romo, 2006).

Cambios en procesos en el suelo

Los cambios sucesionales y de la diversidad y dominancia de las especies en las sabanas de buffel tienen una relación funcional importante con las condiciones y procesos del ecosistema en el suelo. Al igual que la gran mayoría de los cambios inducidos por la introducción de buffel, los efectos de su establecimiento sobre la erodabilidad del terreno son contradictorios y requieren de seguimiento detallado. Algunos estudios preliminares sugieren que la erosión puede ser importante en sitios recientemente desmontados y sembrados con buffel, pero dadas las características y cobertura del buffel, sugieren una disminución de la erosión, incluso por encima de la que puede presentarse en la vegetación natural (Perramond, 2000). Otros estudios desarrollados a partir de efectuar levantamientos microtopográficos del suelo muestran el incremento en la formación de pedestales alrededor de los individuos de buffel con la edad de esta-

blecimiento, lo que sugiere una tasa importante de erosión en las sabanas de buffel con respecto a los sitios naturales (Saucedo-Monarque, 1994). Es posible que el mayor grosor y ausencia relativa de pelos finos en el sistema radicular del buffel resulten en una menor retención y amalgamamiento de las partículas del suelo, en comparación incluso con algunos pastos anuales nativos. Una mayor erosión es de esperarse en sabanas de buffel desde su establecimiento, dadas las obras de movimiento masivo y remoción de suelo, su exposición por desnudamiento y la gran proporción de sitios que presentan bajo o escaso establecimiento de buffel (Castellanos *et al.*, 2002).

A nivel microclimático existen cambios estacionales y diurnos importantes en los regímenes de temperaturas del suelo entre comunidades naturales y sabanas de buffel. Durante la primavera, algunas comunidades naturales muestran ciclos de rápido calentamiento del suelo antes del mediodía, manteniéndose dicha temperatura hasta las primeras horas de la madrugada, cuando desciende rápidamente (Castellanos *et al.*, 2002). Las sabanas de buffel en la misma estación no están activas vegetativamente y muestran una dinámica microclimática diferente, pues presentan ciclos de calentamiento-enfriamiento muy rápidos durante las horas de luz del día y mantienen temperaturas menores en el suelo después de la puesta del sol hasta por 10° C en relación con las encontradas en sitios naturales. El patrón se modifica estacionalmente y se han encontrado menores temperaturas en el suelo bajo el follaje de buffel que en sitios naturales (Castellanos *et al.*, 2002). Aunque las causas de una menor temperatura en sitios con buffel pudieran deberse al enfriamiento por transpiración y mayor sombreado en esta porción del suelo, también se han encontrado menores temperaturas a pocos centímetros por encima del suelo en lugares perturbados y abiertos con escasa cubierta vegetal, en comparación con temperaturas mayores bajo el dosel de mezquite (figura 4), lo que sugiere otros factores determinantes, como pueden ser, entre otros, la mayor velocidad de viento y el enfriamiento por disminución de la capa limitante sobre la superfi-

cie desnuda. Las consecuencias de microclimas más fríos y variables en el suelo de sabanas de buffel deben ser investigadas con detalle para entender potenciales cambios en la dinámica de los procesos relacionados con el banco de semillas, limitantes a la germinación y establecimiento de especies nativas, así como en los procesos de retención de humedad, mineralización y descomposición, entre otros.

Islas de fertilidad y heterogeneidad espacial de los nutrientes

Una característica importante de la vegetación árida y semiárida en Sonora es el porcentaje significativo de especies de leguminosas, del cual un número importante de ellas ha sido relacionado con su papel de nodrizas y formadoras de islas de fertilidad (García-Moya y McKell, 1970; Reynolds *et al.*, 1999; Suzán *et al.*, 1996; Throop y Archer, 2007), al crecer y formar parches (parcelas) en los que se asocia una importante diversidad de otras especies y formas biológicas. Esta manera de estructurar el paisaje en los ecosistemas desérticos, en parcelas donde existe una concentración de recursos y biodiversidad, resulta en una mayor heterogeneidad en la distribución de nutrientes y disponibilidad de recursos (López-Portillo y Montaña, 1999; Mauchamp *et al.*, 1993; Van de Koppel y Rietkerk, 2004) e, incluso, ha sido considerada como un indicador de procesos de degradación o desertificación de ecosistemas de pastizal (Schlesinger *et al.*, 1996 y 1990; Von Hardenberg *et al.*, 2001). Es posible que el no reconocer la presencia de islas de fertilidad e interespacios con menos recursos, al transformar la cubierta vegetal natural a sabanas, sea una de las causas del bajo establecimiento inicial de buffel en sitios recién desmontados (Castellanos *et al.*, 1996 y 2002).

Las sabanas de buffel modifican su fertilidad y tienden a disminuir el reservorio de nitrógeno en el suelo conforme aumenta el tiempo de su establecimiento (Castellanos *et al.*, 2002). Esta disminución no es claramente evidente para reservorios de nitrógeno inorgánico en el suelo y para las tasas de mineralización neta (López, 2007), lo que hace

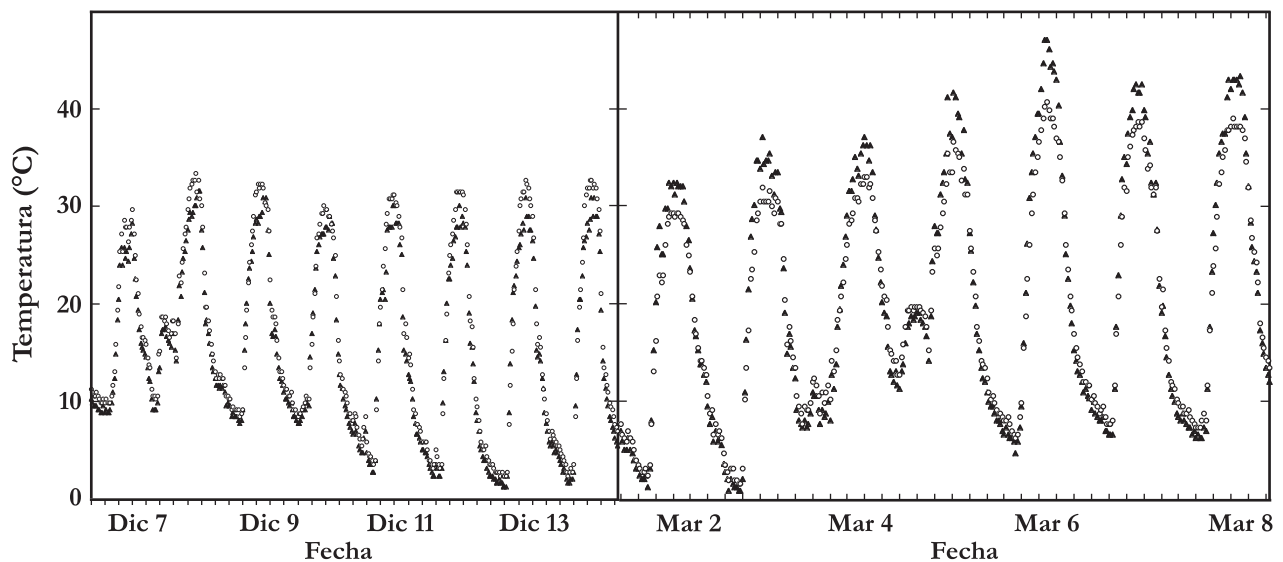


Figura 4. Diferencias microclimatológicas en la temperatura del aire en lugares abiertos (círculos) y bajo el dosel (triángulos) de árboles de diferentes especies. Los datos representan diferencias estacionales.

realmente compleja la explicación de los cambios inducidos en el suelo con el tiempo de establecimiento de sabanas de buffel. Estacionalmente, en algunos ranchos de la región central de Sonora se ha encontrado la disminución de nitrógeno orgánico total en el suelo durante la época húmeda (tabla 1). Los cambios encontrados en relación con la disminución del nitrógeno en el suelo pudieran ser resultado de múltiples factores a diferentes niveles, del individuo (alta concentración de nitrógeno en el follaje para sustentar altas tasas de fotosíntesis, una baja tasa de reabsorción en las hojas), del ecosistema (una disminución en el aporte de entrada por pérdida de fijadoras de nitrógeno, un cambio en las tasas de mineralización y disponibilidad para las plantas, un ciclo de degradación más largo debido al gran contenido de lignina en buffel), del sistema de manejo productivo (exportación en exceso fuera del sistema vía pastoreo, pro-

ducción y venta animal durante décadas) o de una combinación de todos ellos.

Desmontes y cambios en los reservorios de carbono en el suelo

El cambio de la vegetación natural a sabana de buffel también repercute en los procesos de formación de materia orgánica y en los reservorios de carbono. Una gran proporción de las especies vegetales de las regiones áridas y semiáridas sonorenses poseen la vía fotosintética C_3 , relacionada con la mayor discriminación isotópica de carbono en sus tejidos ($\delta^{13}C$ más negativo), lo cual persiste en la señal isotópica de la materia orgánica del suelo, una vez que se ha incorporado la hojarasca de sus especies. En comparación, el buffel es una especie con vía fotosintética C_4 , por lo cual sus tejidos muestran una menor discriminación isotópica ($\delta^{13}C$ menos negativo), lo que se refleja en la prevalencia

Tabla 1. Disminución en nitrógeno orgánico (%) en sabanas de buffel durante la época seca y húmeda

Tipo de vegetación	Nitrógeno Kjehdhal en Buffel		Nitrógeno Kjehdhal bajo fijadora N	
	Estación seca	Estación húmeda	Estación seca	Estación húmeda
Sabana antigua	0.602 ± 0.034	0.399 ± 0.040	0.625 ± 0.047	0.666 ± 0.061
Sabana reciente	0.497 ± 0.040	0.511 ± 0.056	0.618 ± 0.097	0.793 ± 0.103
Natural			0.896 ± 0.171	0.605 ± 0.079
Interespacio	0.643 ± 0.040			

Notas: estación seca (enero), húmeda (agosto). Los valores bajo fijadoras en sitios naturales son considerados la base de comparación.

de este tipo de señal isotópica en la materia orgánica del suelo producto de la descomposición de su biomasa. Estudios en sitios con diferentes años de establecimiento del buffel muestran el cambio en la señal isotópica de la materia orgánica del suelo (tabla 2) y revelan cómo, en los primeros años después del desmonte para establecer el buffel, la señal de discriminación isotópica en la materia orgánica del suelo muestra que casi 92.5% del carbono orgánico en el suelo proviene del buffel, lo que refleja la composición casi exclusiva de buffel como especie dominante establecida (tabla 3). En sitios en donde el buffel se estableció quince y treinta años antes, 35.4 y 45% del carbono proviene de especies nativas que han logrado restablecerse (tabla 2).

Una vez establecido el buffel, la recuperación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas semiáridos sonorenses parecen estar desfases en el tiempo y reflejan la velocidad de sucesión y dominancia de especies, tanto encima del, como en el suelo, por lo que sugieren la necesidad de que transcurran algunas décadas y hasta siglos para que se restablezcan.

Cambios en el uso de agua y balance de carbono en sabanas de buffel

Buffel tiene una de las capacidades fotosintéticas más altas reportadas en la literatura (Larcher, 1995), que coincide con las principales características por las que es utilizado como forraje: su rápida y abundante producción de biomasa. Bajo condiciones del Desierto Sonorense, la capacidad fotosintética en bu-

ffel puede variar en diferentes años y sitios, lo que probablemente refleja la diferencia en disponibilidad de recursos como agua y nitrógeno en el suelo y hojas (tabla 2). Aun cuando las tasas en esa especie son altas comparadas con un número importante de especies nativas (Castellanos, 1996), es menor o similar a las encontradas en anuales nativas como *Bouteloua* sp. y *Amaranthus palmeri*. Dado el conocimiento tan limitado en las capacidades fotosintéticas de un gran número de especies y tipos funcionales en el Desierto Sonorense (tabla 3), es posible darnos una primera idea de los eventuales efectos en la pérdida de diversidad funcional que resultará de llegar a perder especies cuyo potencial aún no conocemos, dada la gran velocidad de transformación de los ecosistemas naturales desérticos a sabanas de buffel. Las características funcionales de otras muchas especies que son de gran importancia en los ecosistemas de Sonora son aún menos conocidas y su falta de estudio y pérdida puede ser crucial para el mantenimiento, conservación y funcionamiento futuro de la biodiversidad de los ecosistemas del estado. Por ejemplo, *Acacia cochliacantha*, una de las especies dominantes en praderas viejas y perturbadas de buffel, es una especie con gran capacidad fotosintética y de fijación de nitrógeno, dos características de gran importancia que explican su invasibilidad, y que al mismo tiempo permiten iniciar la recuperación de las comunidades vegetales semiáridas en Sonora.

La simplificación en la estructura y diversidad de especies de los ecosistemas naturales, transformados a sabanas de buffel, afecta la eficiencia del

Tabla 2. Cambios en la composición isotópica y proporción carbono-nitrógeno en hojas y suelo de sabanas de buffel con diferente edad de establecimiento

		$\delta^{13}\text{C}$	s.e.	C/N	s.e.	Contribución por buffel (% C)
Hojas	Especies C_3	-25.34	0.25	12.67	0.78	
Suelo	Sabana reciente (1-5 años)	-12.38	1.376	21.22	2.397	92.46
	Sabana intermedia (5-15 años)	-15.9	0.879	11.54	0.456	64.57
	Sabana antigua (>20 años)	-16.94	0.404	11.29	0.193	55.13
	Vegetación natural	-23.01	0.893	10.31	0.144	

Nota: el cálculo de porcentaje de carbono en suelo supone $\delta^{13}\text{C} = -12$ para buffel.

Tabla 3. Tasas de fotosíntesis de algunas especies de ecosistemas áridos y semiáridos sonorenses

Tipo funcional	Especies	Vía	Tasa fotosintética ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		
			D. Sonorense	Sonora	D. Sonorense	Sonora	
Árboles	Tallo fotosintético	<i>Cercidium floridum</i>	C3	10.00	12.18	140	
		<i>Cercidium microphyllum</i>	C3*	8.80*	12.74	450	
	Caducifolios	<i>Bursera microphyla</i>	C3		15.57	190	
		<i>Prosopis velutina</i>	C3		19.40	284	
Arbustos	Perennifolios	<i>Acacia greggii</i>	C3	10.08*			
		<i>Olneya tesota</i>	C3	7.60*	7.30	25	
	Caducifolios	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	C3	22.50		260	
		<i>Ambrosia deltoidea</i>	C3	23.90*			
		<i>Ambrosia dumosa</i>	C3	20.00			
		<i>Coursetia glandulosa</i>	C3		15.50	250	
		<i>Fouquieria splendens</i>		3.00			
		<i>Atriplex lentiformis</i>	C4	28.00		120	
	Perennifolios	<i>Atriplex canescens</i>	C4		17.90	130	
		<i>Atriplex polycarpa</i>	C4		19.50	250	
		<i>Baccharis sarathroides</i>	C3		10.60	150	
		<i>Larrea divaricata</i>	C3	27.00	9.00	440	
		<i>Simmondsia chinensis</i>	C3	11.80	10.50	57	
		Suculentos	<i>Opuntia basilaris</i>	CAM	6.00		48
			<i>Agave angustifolia</i>	CAM			
<i>Agave desertii</i>	FCAM		6.00		56		
<i>Agave americana</i>	CAM		11.00				
<i>Hesperaloe funifera</i>	CAM		8.00				
Subarbustos	Perennes	<i>Hesperaloe nocturna</i>	CAM	3.70			
		<i>Encelia farinosa</i>	C3	37.00	28.90	680	
		<i>Hymenoclea monogyra</i>	C3	10.00		285	
		<i>Justicia californica</i>	C3	15.80		250	
		<i>Penstemon parryi</i>	C3	19.00		260	
		<i>Salazaria mexicana</i>	C3	22.00			
		<i>Spharalcea parvifolia</i>	C3	8.20		160	
Helechos	Perennes	<i>Notholaena parryi</i>	C3	5.00			
		<i>Hilaria rigida</i>	C4	67.00			
Gramíneas	Perennes	<i>Pennisetum ciliare</i>	C4		35.70	54.60	
		<i>Bouteloua aristidoides</i>			59.30	150	
Anuales	Invierno	<i>Amsinckia intermedia</i>	C3*	31.50		380	
		<i>Bowlesia incana</i>	C3*	11.34		500	
	Anuales	<i>Machaeranthera gracilis</i>	C3	35.00		320	
		<i>Malvastrum rotundifolium</i>	C3	65.00		1 400	
		<i>Phacelia crenulata</i>	C3*	52.29		380	
		<i>Phacelia distans</i>	C3*	12.60		200	
		<i>Plantago insularis</i>	C3*	13.86		280	
		<i>Amaranthus palmeri</i>	C4	81.00		800	
		<i>Dicoria canescens</i>	C3	48.00		1 200	
		<i>Tidestromia oblongifolia</i>	C4	37.00		200	
Trepadoras	Herbáceas	<i>Cucurbita digitata</i>	C3		26.78	540	

Tabla 3 (concluye). Tasas de fotosíntesis de algunas especies de ecosistemas áridos y semiáridos sonorenses

Tipo funcional	Especies	Vía	Tasa fotosintética ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
			D. Sonorense	Sonora	D. Sonorense	Sonora
Semileñosas	<i>Cynanchum</i> sp.	C3		24.69		
	<i>Ibervillea sonora</i>			30.20		289
	<i>Phaseolus filiformis</i>	C3		20.00		198
	<i>Antigonum leptopus</i>	C3		9.40		145
	<i>Janusia linearis</i>	C3		33.90		864
	<i>Cardiospermum corundum</i>	C3		23.70		495
Leñosas	<i>Ipomoea</i> sp.	C3		13.03		250
	<i>Mascagnia macroptera</i>	C3		10.26		
	<i>Nissolia schottii</i>	C3		9.56		115
	<i>Metelea</i> sp.	C3		11.06		685
	<i>Merremia palmeri</i>	C3		28.70		220

Nota: las tasas señaladas con asterisco resultan de la conversión $\text{mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ hr}^{-1} * 0.63$.

uso del agua de los ecosistemas y su estacionalidad. En forma individual, el buffel presenta una mayor eficiencia en el uso de agua, lo que modifica el balance hídrico y resulta en una menor evapotranspiración y, como consecuencia, mayor escorrentía o infiltración (Castellanos *et al.*, en prep.). En sitios en donde la mayor capacidad de crecimiento y colonización de buffel sucede sobre suelos gruesos, someros y pedregosos, con poca capacidad de retención de agua, el resultado será una mayor escorrentía y disminución en la infiltración y disponibilidad del agua en el sitio, con lo que se aumenta la sequedad general del sitio.

Aún más evidente es la diferencia en el uso estacional de la precipitación que se presenta en sistemas transformados a sabanas de buffel en comparación con sitios naturales. Las lluvias durante el otoño mostraron ser poco utilizadas por sabanas de buffel, en contraste con la utilización, mayor incluso que en los meses de verano, por comunidades dominadas por estratos arborescentes características del Desierto Sonorense (figura 5). Las sabanas de buffel responden en forma inmediata a pulsos iniciales de precipitación en verano; sin embargo, su utilización de los pulsos de precipitación en otoño-invierno es muy reducido (figura 5), debido a la senescencia temprana del buffel, y la disminución de especies que puedan utilizar pulsos de

precipitación tardíos durante el otoño e invierno.

La capacidad de utilización de lluvias de invierno está relacionada en forma importante con la cubierta arbórea, que es disminuida en forma importante durante la transformación a sabanas de buffel. Estacionalmente existe un contraste significativo con la mayor eficiencia de utilización de la precipitación en las comunidades naturales que en las sabanas de buffel.

Tal vez uno de los aspectos menos estudiados de los cambios debido al establecimiento de sabanas de buffel y remoción de la cubierta arbórea de los ecosistemas sonorenses, sea la dinámica y capacidad de uso del agua por la vegetación. El movimiento, y en particular la redistribución del agua por las plantas, la capacidad de los árboles por adquirir el agua en un estrato del suelo y disponerlo en otro, aunque conocido desde hace más de medio siglo, apenas se ha retomado en la última década (Burgess *et al.*, 2000; Ryel *et al.*, 2003; Scholz *et al.*, 2002).

La redistribución del agua por mezquite (*Prosopis* spp), y seguramente por otras especies aún no estudiadas, puede ser factor importante para el mantenimiento de la funcionalidad, complejidad y diversidad de los ecosistemas sonorenses. Aunque se desconocen las dimensiones y el papel de la redistribución hidráulica de los árboles en la diná-

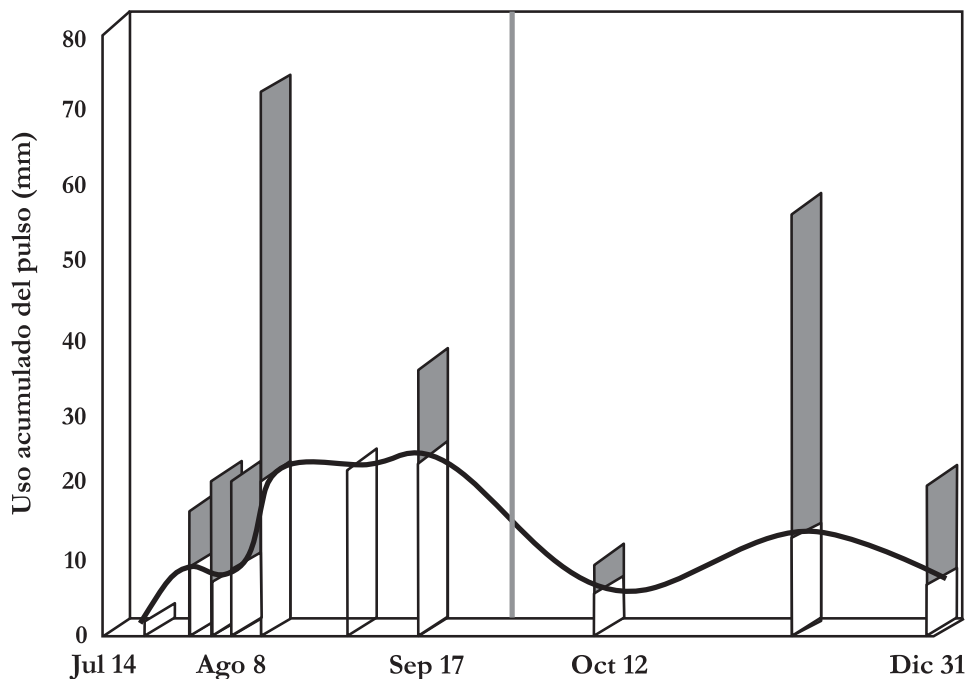


Figura 5. Pulsos de precipitación (gris) y evapotranspiración (blanco) en sabanas de buffel. El uso del agua en otoño disminuye por la senescencia del buffel (línea vertical).

mica del agua de los ecosistemas sonorenses, existen evidencias de que pudiera estar involucrada también en la facilitación del establecimiento de algunas especies bajo su dosel, lo que permite el nodricismo y el aumento de la diversidad de especies. Se ha visto que *Acacia greggii*, que cuenta con menor número de especies establecidas bajo su dosel, presenta una dinámica estacional y humedad del suelo sólo en los primeros cincuenta centímetros, sin redistribución de agua en el suelo (figura 6). Comparativamente, *Prosopis velutina*, que presenta una dinámica de cambios de humedad del suelo a mayores profundidades y redistribución de agua en el suelo, mantiene una mayor diversidad de especies asociadas bajo su copa. Aunque el nodricismo se ha asociado más con la capacidad de la nodriza en proveer protección contra el exceso de irradiación o herbivoría, parece estar también relacionado con la capacidad de facilitar el establecimiento de otras especies bajo su dosel al proveer de recursos limitantes como agua y nitrógeno.

Todo indica que las sabanas de buffel tienen consecuencias importantes en el balance de agua y la funcionalidad de los ecosistemas regionales. Algunos experimentos recientes han mostrado la impor-

tancia de la facilitación en el establecimiento de especies durante la restauración ecológica (figura 7; Méndez, 2007), resultado en gran parte de la modificación de los patrones de humedad en el suelo. La facilitación debida a la asociación de diferentes especies, una de las cuales tiene la capacidad de redistribuir el agua, puede asegurar el establecimiento inicial de las especies. La disminución del establecimiento de especies nativas en sabanas de buffel (Morales-Romero y Molina-Freaner, 2008), pudiera estar respondiendo a la pérdida importante de la capacidad de redistribución del agua en la comunidad, debido a la remoción de las especies arbóreas y la disminución de los procesos de facilitación en el establecimiento de las especies.

Se ha propuesto que los cambios a sabanas de buffel en los ecosistemas de la región central de Sonora han originado una «desertificación productiva» (Castellanos *et al.*, 2002), para destacar el hecho de que las sabanas de buffel son ecosistemas empobrecidos en diversidad de especies, aunque se presumen que puedan ser más productivos. Este concepto se basa en el supuesto de que la elevada capacidad fotosintética de buffel resulta en una productividad primaria sustancialmente mayor en las sa-

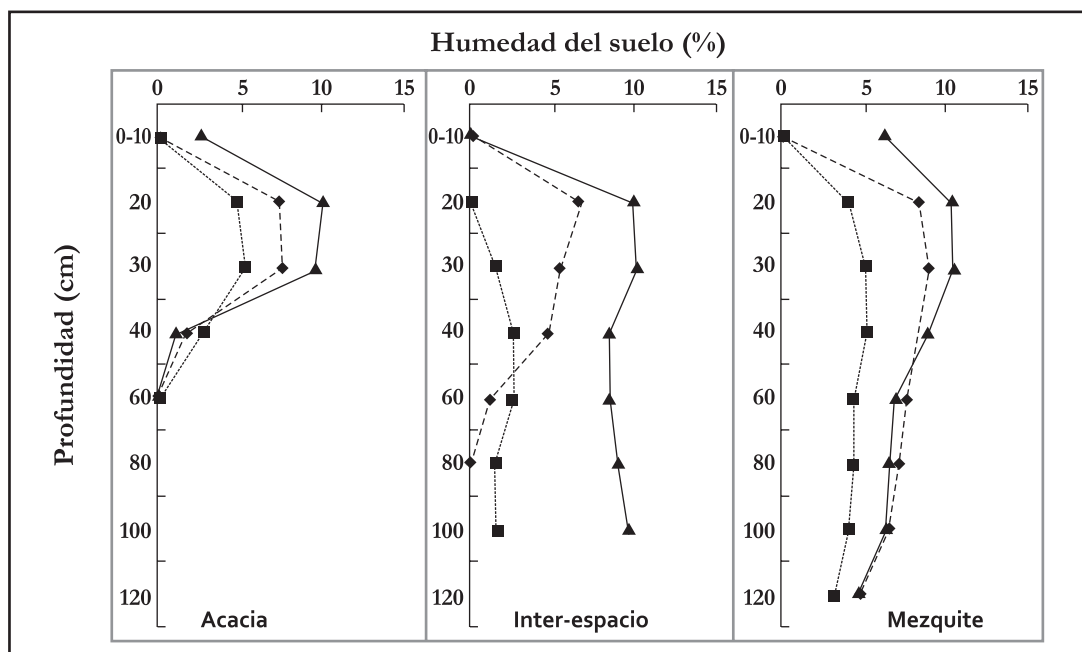


Figura 6. Diferencias en la humedad del suelo bajo dosel de acacia, mezquite y lugares abiertos sin vegetación. El mezquite mantiene humedad en el suelo por debajo de los sesenta centímetros de profundidad, comparado con acacia y espacios abiertos, debido a su red distribución hídrica (modificado de Méndez, 2007). Los símbolos corresponden a los meses de junio (cuadros), octubre (rombos) y noviembre (triángulos).

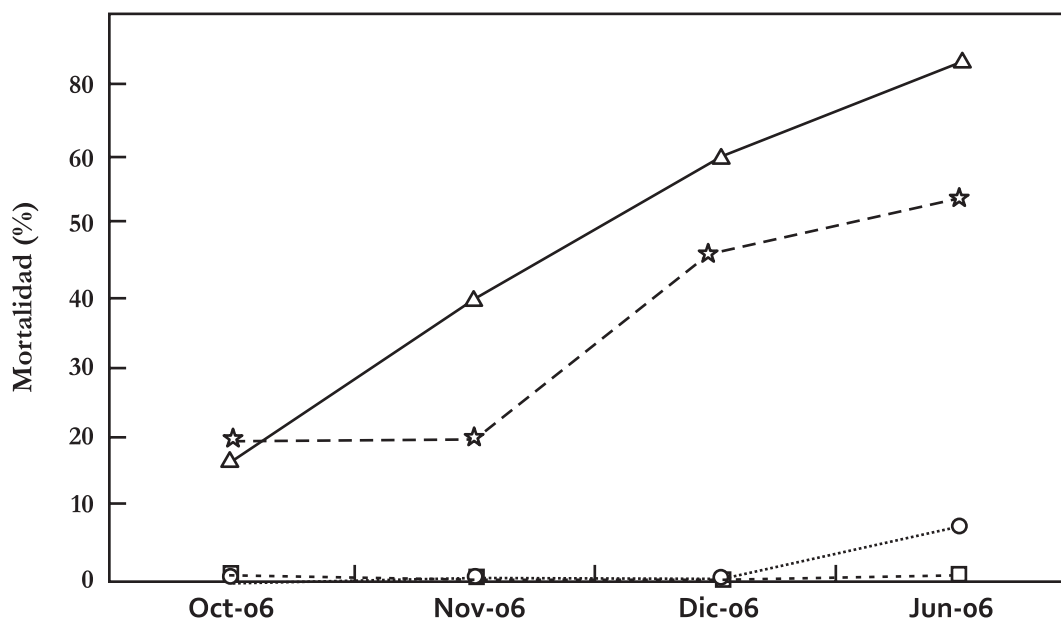


Figura 7. Mortalidad de plántulas establecidas en tratamientos experimentales de individuos de mezquite solos o asociados a otras especies como palo verde y tepehuaje (modificado de Méndez, 2007). Los símbolos corresponden a mezquite asociado con riego (círculos y cuadros), solo y con riego (estrellas) y solo sin riego (triángulos).

banas de esta especie que en la del ecosistema original. Estudios más recientes realizados utilizando índices normalizados de vegetación corregidos para suelo (SAVI), calibrados con datos reales de campo (Romo, 2006), han mostrado que estos índices son

menores en sitios con sabanas de buffel, lo que se interpreta como menor productividad, y mayores en sitios con vegetación natural a lo largo de un gradiente de precipitación en la región central de Sonora. Otros estudios efectuados utilizando ín-

indices normalizados de vegetación (NDVI) han mostrado ser menores en sabanas de buffel, lo mismo cuando los índices son corregidos con algoritmos basados en otras regiones del mundo (Franklin *et al.*, 2006), como cuando la corrección es efectuada con datos de campo de la región (Bravo *et al.*, en dict. para publ.).

Invasibilidad

En algunas áreas el buffel puede llegar a ser una especie con alto potencial de invasibilidad que puede afectar paisajes y ecosistemas en los cuales originalmente no se pensó en introducirlo (Arriaga *et al.*, 2004). Su introducción puede generar situaciones similares a la de otros pastos invasores como *Eragrostis lehmanniana* en el sur de Arizona, que inicialmente utilizan nichos que no han sido ocupados por las especies nativas (Anable *et al.*, 1992; McClaran y Anable, 1992), a las que luego desplaza al utilizar en forma más eficiente los pulsos de agua y nutrientes (Huxman *et al.*, 2004; Potts *et al.*, 2006), con lo que se incrementan la probabilidad de presencia de fuegos periódicos y, consecuentemente, su propia regeneración (Butler y Fairfax, 2003; D'Antonio y Vitousek, 1992).

El buffel puede llegar a convertirse en una invasora de gran éxito (Arriaga *et al.*, 2004; Castellanos *et al.*, 2002) por los mecanismos que se han mencionado y las consecuencias a la diversidad funcional y de las especies ya descritas. Aun así, la siembra intencionada de buffel prosigue en un gran número de hectáreas y, junto con su invasión hacia sitios con vegetación natural, ocupa ya un porcentaje del territorio sonorenses casi tan elevado como la superficie dedicada a la agricultura.

AGRICULTURA

Con la premisa de la necesidad de incrementar la productividad, los cambios recientes en el uso del terreno de la región han sido muy intensivos y han involucrado grandes transformaciones de sus ecosistemas. En forma notable destaca la agricultura

de irrigación, que inició hacia la parte centro-occidental del estado en la década de 1940 (Moreno, 2000; Thomson, 1989; Valenzuela, 1982; West, 1993). La productividad agrícola fue importante por un tiempo, pero a inicios de los años setenta, los pozos profundos para extraer aguas fósiles mostraron signos de sobreexplotación y salinización, con lo que la superficie sembrada en los años noventa disminuyó en más de cincuenta por ciento (alrededor de sesenta mil hectáreas), lo que redujo la superficie productiva a los mismos niveles que cuarenta años antes (Halvorson *et al.*, 2003). El abandono de grandes áreas de campos agrícolas en la Costa de Hermosillo ha dejado un mosaico complejo de vegetación sucesional (Castellanos *et al.*, 2005), lo que dificulta su regeneración, aumenta la presencia de especies exóticas introducidas previamente para la agricultura (Valdez-Zamudio, 2002) y la ganadería y mantiene grandes superficies descubiertas de vegetación. Problemáticas similares se dan en otras regiones del estado como Caborca, en donde, tras un período productivo de pocas décadas, también ha ido en aumento el abandono de terrenos agrícolas.

Mientras que el abandono de terrenos agrícolas ha generado grandes estudios y polémicas relacionadas con los usos competitivos del agua subterránea entre los centros urbanos y la agricultura, los estudios sobre la cubierta vegetal, sus efectos en el suelo y las posibles formas de restauración, recuperación o rehabilitación, han sido poco abordados. Estudios sobre los efectos del afloramiento de la intrusión salina muestran resultados de trayectorias sucesionales diferentes, tanto en las especies involucradas como en la diversidad final de especies (Martínez, 1998). A diferencia de la carencia de patrones claros de sucesión por reemplazo en ecosistemas desérticos (Shreve y Hinckley, 1937; Turner, 1990), la sucesión en campos agrícolas abandonados en el Desierto Sonorense está determinada por el reemplazo evidente de especies, que pueden diferenciarse tanto estructural como ecofisiológicamente. Las pioneras en la sucesión de campos abandonados presentan una dinámica estacional en la cual la eficiencia de uso de agua se relacio-

na con la eficiencia de uso del nitrógeno en forma exponencial, esto es, la eficiencia de uso de agua aumenta con mayor rapidez que la eficiencia de uso del nitrógeno. En cambio, las especies sucesionales tardías muestran estacionalmente una relación inversa entre la eficiencia de uso de agua y del nitrógeno (Castellanos *et al.*, 2005).

Existe sin embargo una heterogeneidad importante en los patrones sucesionales de los campos agrícolas abandonados. Es posible que las condiciones que llevaron a su abandono, principalmente en términos de la estructura y fertilidad del suelo, la edad de abandono, las características del último cultivo, la extensión de la perturbación y cercanía de fuentes de propágulos, así como la presencia de microrelieves o surcos que retengan una cierta humedad, pueden estar influyendo en la diversidad de cubiertas vegetales presentes. No obstante, otro factor poco visualizado es la presencia de asociaciones micorrízicas que puedan influir en el establecimiento de especies (Harris *et al.*, en dict. para publ.).

El disturbio tan grande en extensión y la falta de cubierta vegetal en los campos agrícolas abandonados tienen consecuencias importantes en la presencia de tolvánicas, pérdida de suelo y erosión, así como en la salud de núcleos poblacionales cercanos. También es posible que tenga efectos importantes en el clima regional como consecuencia de cambios en el albedo de grandes extensiones de terreno. El incremento en el albedo regional, debido a la cubierta vegetal disminuida, parece influir en la temperatura regional y posiblemente en la disminución de las lluvias (Bryant *et al.*, 1990; Herrmann y Hutchinson, 2005). Como consecuencia, una decisión importante, aunque pocas veces considerada para las regiones áridas y semiáridas, es la necesidad de restaurar la cubierta vegetal.

Los efectos de los usos intensivos del terreno son evidentes en los ecosistemas de Sonora; en cambio, los usos extensivos de pocas especies, otra de las estrategias en las regiones áridas y semiáridas, dada su incidencia específica y diluida en el paisaje natural, no muestran impactos evidentes en forma inmediata, aunque sus implicaciones en los ecosistemas pudieran ser importantes a diferentes escalas.

EXTRACCIÓN DE MADERA Y CARBÓN VEGETAL

La extracción de madera y carbón vegetal ha sido una actividad de uso del terreno de suma importancia en Sonora. La utilización de especies arbóreas para el cercado de propiedades y como combustible (leña) para la cocción de alimentos se ha centrado en las especies dominantes con propiedades adecuadas para dichas funciones, algunas incluso para ambas. Por ejemplo, *Prosopis* spp (mezquite) y *Olneya tesota* (palo fierro) son especies utilizadas en cercos, para leña y producción de carbón vegetal y para construcción y artesanías. El uso histórico del carbón como parte de la cocina regional (carne asada) y para su exportación ha impuesto cuotas de uso que han impactado la presencia de estas especies en los ecosistemas sonorenses. Su cosecha ha tenido impactos importantes en sus poblaciones, la estructura de edades y la densidad de individuos de estas especies. A pesar del uso tan extendido en el tiempo de estas especies, su cultivo e incluso la regeneración de sus poblaciones prácticamente no se ha efectuado, lo que en ocasiones ha resultado en su desaparición o sustitución por otras especies.

En Sonora se estiman entre 44 y 157 carboneras que procesan madera de mezquite y palo fierro, y aunque es difícil estimar su número y el porcentaje de eficiencia de conversión de madera a carbón, se estima que el estado de Sonora contribuye con setenta por ciento de la producción nacional, la mayoría de la cual se exporta a Estados Unidos. Si consideramos que no existen plantaciones formales de estas especies, es posible explicar el porqué gran cantidad de los matorrales desérticos están dominados por individuos relativamente jóvenes e, inclusive, en algunos casos, la desaparición de esas especies de los sitios en donde previamente se encontraban. Aunque no existen estadísticas históricas confiables sobre la cantidad de extracción de madera de los ecosistemas sonorenses, algunos indicadores muestran la disminución en la presión del consumo doméstico con la llegada del gas doméstico en la década de los años cincuenta y sesenta del siglo xx. Sin embargo, en

los ecosistemas áridos y semiáridos del estado su cosecha mostró un notable incremento en los años ochenta debido a la producción de carbón vegetal para suplir las demandas crecientes de la región y de exportación (Sagarpa, 1995; Taylor, 2006).

La extracción de madera tiene impactos muy importantes en el establecimiento de especies al disminuir la fuente de propágulos y al remover especies nodrizas, con lo que se modifica el microclima existente bajo el dosel, así como la entrada de hojarasca y los procesos de descomposición en los ecosistemas. La remoción de un árbol incrementa la heterogeneidad de la distribución de recursos, de nutrientes, de los patrones de vegetación y, muy probablemente, de la microfauna en el suelo. En fechas recientes, la aparición de actividad de termitas en el tallo de plantas vivas de cactáceas columnares parece, cuando menos en parte, estar relacionada con la disminución en la entrada de hojarasca y biomasa lignificada al ecosistema (Castellanos *et al.*, en prensa).

El uso para la extracción de madera en rollo de los ecosistemas templados dominados por pino (*Pinus* spp) y encino (*Quercus* spp) en el estado de Sonora significan el dos por ciento de la producción nacional (INEGI, 2007). Las principales regiones productoras se encuentran en El Largo-Nacori Chico y Yécora-Maycoba. Esta última es una de las regiones de mayor diversidad reportadas para especies de pino en Norteamérica (Farjon, 1984). Aquí confluyen especies templadas, las cuales tienen sus límites meridionales, y tropicales con límites más septentrionales (Castellanos, 1990). La región templada en el estado de Sonora ha sido también una de las más impactadas por la tala inmoderada, el clandestinaje y la falta de éxito en la restauración. Existen áreas importantes de esta región en donde los antiguos bosques de pino se encuentran disminuidos y dominados por el pino llorón (*P. lumholtzii*), una especie endémica a México afín a suelos poco productivos, por especies de encino o por matorral de manzanita (*Arctostaphylos pungens*), los cuales disminuyen la posibilidad de regeneración de los bosques de pino originales (Castellanos, 1990).

DESERTIFICACIÓN Y LEGADO DE LOS ECOSISTEMAS

Definida como la degradación de las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas, debido a las actividades humanas e influenciada por el clima (Johnson *et al.*, 2006), la desertificación tiene como componentes determinantes la adecuación del sistema socioeconómico, la sustentabilidad de prácticas ecológicas y las características de la sequía o perturbación biofísica. Estos tres componentes tienen diferentes manifestaciones o legados ecológicos en el tiempo, dependiendo de los niveles con que se presenten y las sinergias de su interacción, y sus resultados se miden en relación con sus efectos en los sistemas sociales y ecosistemas.

Por ejemplo, los efectos de una sequía pueden ser mínimos si se encuentra dentro de la variabilidad a la que tanto el ecosistema como sus pobladores se han adecuado, esto es, pueden ser resilientes y recuperarse rápidamente. En el caso extremo, los efectos de la sequía o perturbación pueden modificar en forma irreversible el estado estable de un ecosistema a otro menos productivo, lo cual sucede cuando las prácticas de no sustentabilidad que desarrolla el sistema social afectan el funcionamiento y la capacidad de sostenimiento del ecosistema. Esta situación es la que ha sido documentada para los pastizales semiáridos del norte-noroeste de México y suroeste de Estados. Existen diversos autores que han documentado la conversión de pastizales semiáridos a matorrales desérticos dominados por *Prosopis-Larrea* en el Desierto Chihuahuense (Bahre y Bradbury, 1978; Balling, 1988; Barnes y Archer, 1999; Buffington y Herbel, 1965).

Existen diferentes hipótesis aún en debate para explicar este cambio en la estructura y funcionamiento de los pastizales semiáridos hacia el aumento («encroachment») de especies leñosas en pastizales. Aunque la hipótesis más extendida es la del sobrepastoreo, el cambio climático global, el uso del fuego y los cambios en los niveles de CO₂ pueden también estar involucrados (Archer *et al.*, 1995; Archer, 1995; Barnes y Archer, 1999). Dregne (1997) plantea que los cambios en la productividad de los

pastizales semiáridos en esta región de ecotono han disminuido drásticamente, aunque con dinámicas diferentes. Asimismo, dice que debido al intenso uso y sobrepastoreo desde 1700, los pastizales semiáridos, refiriéndose a los ubicados en el norte de México, disminuyeron su productividad hasta en cincuenta por ciento (Dregne, 1997). En cambio, menciona que los mismos pastizales en su región más septentrional, en lo que hoy es Estados Unidos, sólo disminuyeron su productividad hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

Una hipótesis que no se ha planteado para esa disminución en la productividad en los pastizales semiáridos ha sido la desertificación y su legado ecológico debido al sobrepastoreo y la interacción de la cubierta vegetal con disminuciones importantes en la disponibilidad de agua durante las épocas de grandes (1700) e importantes (1850 y 1890) sequías (Seager *et al.*, 2007). Existen documentos históricos que hablan de una gran explotación ganadera en el noroeste de México durante el siglo XVIII y se menciona que las corridas de ganado a la Ciudad de México (traslado de ganado para su venta), podían llegar a varios cientos de miles de cabezas. Aun cuando los números no sean precisos, esto habla de una concentración de ganado sustancialmente elevada en los ecosistemas de la región central de Sonora que continuó hasta el siguiente siglo, cuando se presentan sequías generalizadas y documentadas para las décadas de 1850 y 1890 en el norte de México y suroeste del actual Estados Unidos (Seager *et al.*, 2007). Estas fechas coinciden con la degradación de pastizales semiáridos y la invasión de especies desérticas y leñosas al pastizal en el Desierto Chihuahuense y su porción del noroeste del estado en la región de Agua Prieta (Archer *et al.*, 1995; Bahre y Bradbury, 1978; Buffington y Herbel, 1965; Van de Koppel *et al.*, 1997), por lo que existe cuando menos la posibilidad de que estos eventos de sequía pudieran haber actuado sinérgicamente con la fuerte presión de pastoreo de la ganadería sobre estos ecosistemas, disminuir en forma importante su productividad y determinar sus características actuales de funcionamiento y estructura.

En Sonora, una proporción importante de los inicios de la ganadería sucedió en la ecotonía de pastizales semiáridos con ecosistemas subtropicales y sus impactos históricos han sido poco documentados. En la región central de Sonora y hacia las regiones de Moctezuma, Cumpas y Arizpe por el río Sonora, se dieron condiciones de uso ganadero importantes desde inicios de la llegada de los españoles a Sonora, condiciones que aún hoy pueden ser las responsables de la baja productividad y degradación de los ecosistemas de esas regiones, con el consecuente incremento de la presencia de especies leñosas en los matorrales semiáridos en algunos sitios de esa región (Castellanos, obs. pers.).

ESTADO ACTUAL DE LA CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL CENTRO DEL ESTADO DE SONORA

Sistema de áreas naturales protegidas

Un gran porcentaje de la actividad productiva basada en el uso de los recursos naturales del estado de Sonora se ha desarrollado en su región central y en ella, a pesar de ser una región donde confluyen las regiones biogeográficas neártica y neotropical, no se cuenta con reservas ecológicas o sitios protegidos. Aunque han existido propuestas importantes de áreas naturales protegidas para esta porción del estado, éstas no han sido concretadas. Es importante la concepción de un sistema de áreas naturales protegidas, algunas de las cuales pueden ser similares a las ya planteadas, aunque tal vez considerando nuevas formas y opciones de conservación. Es posible que con la utilización de los mecanismos de conservación actuales pudieran generarse formas innovadoras de apoyo a la conservación y utilización más sustentable de los ecosistemas sonorenses, incluyendo aquéllos en los que se pudiera involucrar la iniciativa privada.

UMA como sistema integrado para la conservación

El contribuir con la conservación de la biodiversi-

dad y hacerla compatible con la productividad económica y el desarrollo socioeconómico del país, son las ideas principales que sustentan la creación de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) en México desde 1997 (Semarnat, 2002). Las UMA se definen como «propiedades registradas con infraestructura para operar un plan de manejo aprobado en donde se efectuará el monitoreo permanente de la condición del hábitat, las poblaciones e individuos que en él se distribuyen» (Semarnat, 2002). Las UMA pueden operar como establecimientos de fauna silvestre o jardines botánicos, ya sean intensivos o extensivos, así como lugares para la producción legal y viable de productos naturales y sus subproductos.

Un esquema de conservación pudiera ser el establecer un sistema estatal de conservación basado en la coordinación de las Unidades de Manejo para la Conservación de Vida Silvestre registradas en el estado. Un sistema de conservación basado en las UMA establecidas, coordinado por los propietarios y el apoyo y supervisión gubernamental en un Consejo para la conservación, pudiera llegar a constituirse como un nuevo modelo aplicable en el país y convertirse en el mayor esfuerzo de conservación en México con participación de particulares. Las UMA en Sonora representan más de la tercera parte de la superficie territorial, lo que en forma inmediata pudiera establecer un esfuerzo enorme y un modelo a seguir a escala nacional, e incluso internacional, dentro de las prácticas de conservación y manejo sustentable. Consideramos que esquemas como el propuesto y otros similares pueden dar frutos inmediatos en nuestra entidad.

La importancia de las UMA en Sonora puede verse en el incremento que han observado en los últimos ocho años, pues desde la fecha de su creación, a 2003 éstas cubrían más de cinco millones y medio de hectáreas, aproximadamente treinta por ciento del territorio (Barroso, 2003; Salazar, 2003). Su importancia reside, además de la superficie del territorio, en los ingresos económicos que genera. Se estima que en cinco años el ingreso bruto por las actividades de las UMA crecerá más de veinte veces, de veinticinco a quinientos millones de dó-

lares (Cibermirón, 2004). Este tipo de incentivos socioeconómicos seguramente puede llegar a imponer estrés sustancial sobre los ecosistemas naturales y el paisaje si no se considera un desarrollo sustentable y ecológico a corto, mediano y largo plazo.

NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS FUTUROS

Impactos sobre la biodiversidad y funcionalidad

La pérdida de la biodiversidad y funcionalidad de los ecosistemas sonorenses está asociada directamente con las formas propuestas de uso de los ecosistemas, sus recursos naturales y los hábitats que ocupan. Las diferentes lógicas del uso del terreno no pueden concebirse sin el análisis de los impactos que el uso tiene sobre la funcionalidad ecológica. Sin embargo, generalmente uso e impactos son analizados utilizando una misma dimensión temporal, cuando los procesos ecológicos, y por lo tanto relacionados con la sustentabilidad, requieren de analizarse bajo dimensiones temporales más prolongadas, generalmente determinadas por procesos ecológicos claves (variables lentas) en la supervivencia de la especie o en el funcionamiento del ecosistema. Por ejemplo, si la extracción de madera se determina en base a una intensidad de uso anual y el valor crítico en el mantenimiento de las tasas de extracción es el establecimiento y sobrevivencia de individuos de la especie —que sólo ocurre en escalas de tiempos que están determinadas por el número de años en exceso a la media con condiciones sinérgicas de precipitación y herbivoría adecuadas—, y si dichos números de individuos y eventos, y por lo tanto las tasas anuales son desconocidos, entonces la sustentabilidad de esta práctica de manejo estará errada de inicio si supone un suministro constante y no determinado por pulsos.

Igualmente, la utilización de los ecosistemas sonorenses y la falta de consideración de su funcionalidad e integración han resultado en propuestas de manejo que generan su mayor vulnerabilidad ecológica y socioeconómica. El cambio tecno-

lógico en las actividades productivas, por ejemplo el cambio en la ganadería de extensiva a intensiva, ha generado un mayor disturbio, pérdida de resiliencia e incremento de la invasibilidad de especies exóticas (Arriaga *et al.*, 2004), como sucedió en el caso del buffel, cuya introducción fue inicialmente planeada con el fin de un incremento en la productividad de los ecosistemas utilizados como agostaderos. La falta de una visión ecológica e integral resulta en cambios importantes en la fertilidad (Castellanos *et al.*, 2002), en el ciclaje de materia orgánica y nitrógeno (López, 2007), en la productividad (Franklin *et al.*, 2006; Romo, 2006) y en la diversidad (Saucedo-Monarquero *et al.*, 1997).

En síntesis, el uso del suelo sin consideraciones de sustentabilidad ha resultado en incrementos en la perturbación y desertificación de múltiples regiones y ecosistemas.

RESTAURACIÓN

La restauración y la reforestación han sido retomadas por programas gubernamentales como Proárbol, y antes Procampo Ecológico. Por ejemplo, en el estado de Sonora, Proárbol ha alcanzado la cifra de 900 325 árboles sembrados en un año, de los cuales solamente se contabilizaban veinte mil como compensación ecológica (Conafor, 2008). Estos programas han invertido grandes sumas de recursos en lo que se consideran actividades ecológicas de restauración, cuyas bases técnicas y científicas no están claramente definidas, validadas para la región, y de las cuales no se conoce seguimiento alguno. Algunos estudios que han seguido protocolos similares a los utilizados para la restauración en los programas oficiales demuestran una escasa sobrevivencia bajo condiciones de aridez (Méndez, 2007).

Las especies vegetales desérticas se desarrollan alrededor de asociaciones dominadas por especies nodrizas, con lo que se establecen lo que se ha denominado islas de vegetación o parcelas de vegetación (Van de Koppel y Rietkerk, 2004; Von Hardenberg *et al.*, 2001; Whitford, 2002). Por ejemplo, uno de los impactos ecológicos mayores de la

extracción de especies arbóreas de mezquite (*Prosopis* spp) y palo fierro (*Olneya tesota*) para leña o carbón, es que se desempeñan como nodrizas, lo que afecta en forma indirecta el establecimiento de gran cantidad de otras especies anuales y perennes del Desierto Sonorense, algunas emblemáticas como el sahuaro, *Carnegiea gigantea* (McAuliffe, 1984; Suzán *et al.*, 1996). La presencia de la asociación nodriza-protégida está fuertemente representada en ecosistemas áridos y semiáridos (Flores y Jurado, 2003), lo que debería hacer factible y deseable la utilización de este tipo de relaciones en prácticas de restauración (Castro *et al.*, 2002; Páddilla y Pugnaire, 2006). En la restauración de campos agrícolas abandonados en la Costa de Hermosillo las principales limitantes al establecimiento de las especies fueron sequía y herbivoría (Méndez, 2007) cuando fueron utilizadas plántulas de especies en forma individual durante la restauración. Cuando las especies fueron establecidas asociadas a otras especies reconocidas como nodrizas, su sobrevivencia fue prácticamente total al cabo de dos años (Méndez, 2007). Aunque es conocido que las interacciones pueden modificarse con el tiempo o estacionalmente (positivas en ocasiones y negativas en otras), durante la restauración señalaron ser positivas para mezquite creciendo asociado. Las principales causas que determinaron las interacciones positivas del mezquite asociado a otras especies fueron la redistribución del agua, los cambios microclimáticos en las temperaturas bajo el dosel y la protección contra herbívoros, resultando en la mayor sobrevivencia de plántulas establecidas.

USOS ALTERNATIVOS

Bioenergía

La disminución de inventarios de combustibles fósiles a escala mundial y la reducción de las reservas probadas en México a menos de diez años, así como los efectos en el cambio climático por los niveles de uso actual, han llevado a considerar la búsqueda y uso de fuentes de energía alternativa

como una prioridad mundial y nacional. Las regiones áridas tienen un gran potencial para la producción de energía mediante fuentes alternativas, utilizando directamente la gran cantidad de energía solar y calor de estas regiones, así como para la generación de aceites y biomasa para la producción de biodiesel y biocombustibles (Castellanos, obs. pers.; Medina *et al.*, 2008). El uso de terrenos abandonados y degradados, y no la consideración de las zonas áridas como improductivas y susceptibles de ser transformadas indiscriminadamente a la producción, puede ser otra ventaja potencial en su uso para la producción de bioenergéticos.

Existen evidencias de que el potencial de producción bioenergético en el estado de Sonora puede ser importante y que tenderá a incrementarse por el potencial biofísico mencionado antes y el uso de nuevas oportunidades. Es posible que para la producción de biodiesel en zonas áridas se puedan utilizar especies nativas como jojoba (*Simmondsia chinensis*), calabacillas (*Cucurbita foetidissima*, *C. digitata* y *C. argyrosperma*), algunos mezquites (*Prosopis* spp), acacias y especies de familias como euphorbiaceas (*Jatropha* spp) y brassicaceas (*Lesquerella* spp), tanto dentro de esquemas agroforestales como de monocultivo. La expansión de este potencial será evidente en el futuro, aunque actualmente ya se encuentran en proceso grandes proyectos que utilizan especies introducidas como higuera (*Ricinus communis*) y algas marinas en la región costera del centro y noroeste del estado.

CONCLUSIONES

Los ecosistemas sonorenses, en particular los áridos y semiáridos, los más conocidos florísticamente, son prácticamente desconocidos en su funcionamiento y relaciones específicas. No sólo la dinámica de los ecosistemas naturales es poco conocida, sino las respuestas de los mismos a las diferentes formas de perturbación por su uso y a la sucesión de formas de uso (figura 1). Menos conocidos son los demás ecosistemas de Sonora, tanto subtropicales como templados. Si no consideramos el legado eco-

lógico en el uso y manejo de los ecosistemas, con dificultad estableceremos las posibles respuestas de un ecosistema. Tradicionalmente los usos de los ecosistemas han respondido a presiones y controladores socioeconómicos de mercados locales. Más recientemente, su uso responde a mercados globales, lo que impone presiones socioeconómicas y de políticas de utilización cada vez menos sustentables.

Los cambios en el uso del terreno derivados de interacciones complejas de carácter socioeconómico resultan en lo que denominaríamos como ecología «a posteriori». Estamos aplicando formas remediales de conservación en lugar de establecer formas sustentables de uso. No sólo es cada vez más difícil encontrar ecosistemas prístinos, sino en muchos casos sus formas de uso fueron mal diseñadas e insostenibles, de tal manera que éstos presentan diversos niveles de degradación. En el mejor de los casos, algunos de estos ecosistemas serán sometidos a procesos de restauración, lo que hace que la restauración ecológica, manejo adaptativo y desarrollo sustentable estén siendo áreas científicas y tecnológicas de creciente importancia y rápido crecimiento en los últimos años.

El uso de los ecosistemas sonorenses sólo podrá ser sustentable en la medida en que el funcionamiento integral de sus ecosistemas sea conocido. Para eso, tenemos aún una tarea muy larga y apremiante.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con la contribución directa e indirecta de muchos colegas y alumnos que durante décadas han compartido generosamente su conocimiento y esfuerzo para ampliar nuestro entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas desérticos. De entre todos queremos destacar, sin seguir ningún orden, a María Jesús Martínez, Esther Saucedo, Clara Tinoco, Francisco Molina, Diego Valdez, Cruz Alfonso Acuña, Sandra Díaz, Dave Williams, William Halvorson, Ileana Espejel, Laura Arriaga, Erick de la Barrera, Lee Graham y muchos otros cuyo nombre de momento puede escapar pero que han aportado su gusto y pasión por la

ecofisiología y la búsqueda por entender cómo son y cómo funcionan los ecosistemas sonorenses.

Asimismo, se contó con el apoyo parcial de SEP-Conacyt (CB06-61865), Conacyt-Conafor (C03-10644), US-AID TIES program y IAI (isp1-071). A ellos el reconocimiento por sus apoyos a nuestros proyectos de investigación. Igualmente, a los propietarios, ejidatarios y colonos que nos han permitido utilizar sus predios en forma desinteresada para realizar nuestros estudios.

LITERATURA CITADA

- ABEL, N., J. IVE, A. LANGSTON, B. TATNELL, D.J. TONGWAY, B. WALKER y P. WALKER. 2000. Resilience of NSW Rangelands: A Framework for Analysing a Complex Adaptive Ecosystem. En: P. Hale, A. Petrie, D. Moloney y P. Sattler, eds. *Management for Sustainable Ecosystems*. Center for Conservation Biology. University of Queensland, Brisbane, Australia, pp. 58-70.
- ADLER, P.B., D.G. MILCHUNAS, W.K. LAUENROTH, O.E. SALA e I.C. BURKE. 2004. Functional Traits of Graminoids in Semi-Arid Steppes: A Test of Grazing Histories. *Journal of Applied Ecology* 41: 653-663.
- AGUIAR, M.R., J.M. PARUELO, O.E. SALA y W.K. LAUENROTH. 1996. Ecosystem Responses to Changes in Plant Functional Type Composition: An Example from the Patagonian Steppe. *Journal of Vegetation Science* 7: 381-390.
- AGUIRRE-MURRIETA, R., D.A. JOHNSON, L. CARRILLO y F. NORIEGA. 1974. Coeficientes de agostadero para el estado de Sonora. Cotecoca/SAG, México, 133 p.
- ALCALÁ-GALVÁN, C.H. 1995. Origen geográfico y características biológicas. P95009. CIPES, Hermosillo, Sonora, México, 7 p.
- ANABLE, M.E., M.P. McCLARAN y G.B. RUYLE. 1992. Spread of Introduced Lehmann lovegrass *Eragrostis lehmanniana* Ness in Southern Arizona, USA. *Biological Conservation* 61: 181-188.
- ARCHER, S.R. 1995. Tree-Grass Dynamics in a *Prosopis*-thornscrub Savanna Parkland: Reconstructing the Past and Predicting the Future. *Ecoscience* 2: 83-99.
- ARCHER, S., D.S. SCHIMEL y E.A. HOLLAND. 1995. Mechanisms of Shrubland Expansion: Land Use, Climate or CO₂? *Climatic Change* 29: 91-99.
- ARRIAGA, L., A.E. CASTELLANOS, E. MORENO y J. ALARCÓN. 2004. Potential Ecological Distribution of Alien Invasive Species and Risk Assessment: A Case Study of Buffel Grass in Arid Regions of Mexico. *Conservation Biology* 18: 1504-1514.
- BAHRE, C.J. y D.E. BRADBURY. 1978. Vegetation Change Along the Arizona-Sonora Boundary. *Annals of the Association of American Geographers* 68: 145-165.
- BAHRE, C. y M.L. SHELTON. 1993. Historic Vegetation Change, Mesquite Increases, and Climate in Southeastern Arizona. *Journal of Biogeography* 20: 489-504.
- BALLING, R. C.J. 1988. The Climatic Impact of a Sonoran Vegetation Discontinuity. *Climatic Change* 13: 99-109.
- BARNES, P.W. y S. ARCHER. 1999. Tree-Shrub Interactions in a Subtropical Savanna Parkland: Competition or Facilitation? *Journal of Vegetation Science* 10: 525-536.
- BARONI, A. 1992. Agricultura, ganadería y sociedad en la cuenca media del Rio Sonora. En: E. Camou, ed. *Potreros, Vegas y Mahuechis*. El Colegio de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- BARROSO, M.A. 2003. Ranchos cinegéticos salvan al cimarrón. *Cambio Sonora*, Hermosillo, Sonora, México.
- BROWN, D.E. 1982. Biotic Communities of the American Southwest. United States and Mexico. *Desert Plants* 4: 1-342.
- BRYANT, N.A., L.F. JOHNSON, A.J. BRAZEL, R.C. BALLING, C.F. HUTCHINSON y L.R. BECK. 1990. Measuring the Effect of Overgrazing in the Sonoran Desert. *Climatic Change* 17: 243-264.
- BUFFINGTON, L.C. y C.H. HERBEL. 1965. Vegetational Changes on a Semidesert Grassland Range from 1958 to 1963. *Ecological Monographs* 35: 139-164.
- BURGESS, S.S.O., J.S. PATE, M.A. ADAMS y T.E. DAWSON. 2000. Seasonal Water Acquisition and Redistribution in the Australian Woody phreatophyte, *Banksia prionotes*. *Annals of Botany* 85: 215-224.
- BÜRGI, M., A.M. HERSPERGER y N. SCHNEEBERGER. 2004. Driving Forces of Landscape Change. Current New Directions. *Landscape Ecology* 19: 857-868.
- BUTLER, D.W. y R.J. FAIRFAX. 2003. Buffel Grass and Fire in a Gidgee and Brigalow Woodland: A Case Study from Central Queensland. *Ecological Management and Restoration* 4: 120-125.
- CAMOU, E. 1990. Sonora: una ganadería para la exportación. *Revista de El Colegio de Sonora* 2: 126-132.
- CAMOU, E., ed. 1991. *Potreros, vegas y mahuechis*. Gobierno del Estado de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.

- CAMOU, E. 1998. De rancheros, poquiteros, orejanos y criollos: los productores ganaderos de Sonora y el mercado internacional. El Colegio de Michoacán/CIAD, Zamora, Michoacán, México.
- CASTELLANOS, A.E. 1990. Proyecto sobre impacto ambiental del desarrollo forestal de Chihuahua y Durango. Universidad de Sonora/Secretaría de Recursos Hidráulicos. Hermosillo, Sonora, México.
- CASTELLANOS, A.E. 1992. Ecología, utilización y conservación de las comunidades vegetales en el estado de Sonora. Un análisis. En: J.L. Moreno, ed. *Los recursos naturales del estado de Sonora*. SIUE/El Colegio de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, pp. 25-37.
- CASTELLANOS, A.E. 1996. Physiological Ecology and Gas Exchange Characteristics of Sonoran Desert Plant Species. ICASALS/OIA, Texas Tech University, Lubbock, Texas, pp. 359-373.
- CASTELLANOS, A.E., G. YANES y D. VALDEZ-ZAMUDIO. 2002. Drought-Tolerant Exotic Buffel-Grass and Desertification. En: B. Tellman, *Weeds Across Borders*. Arizona-Sonora Desert Museum, Tucson, Arizona.
- CASTELLANOS, A.E., M.J. MARTÍNEZ, J.M. LLANO, W.L. HALVORSON, M. ESPERICUETA y I. ESPEJEL. 2005. Successional Trends in Sonoran Desert Abandoned Agricultural Fields in Northern Mexico. *Journal of Arid Environment* 60: 437-455.
- CASTELLANOS, A.E., R.A. CASTILLO-GÁMEZ y A. QUIJADA-MASCAREÑAS. En prensa. Termite Activity on Green Tissues of Saguaro (*Carnegiea gigantea*) in the Sonoran Desert. En: W.L. Halvorson, C. Schwalbe y C. van Riper, eds. *Southwestern Desert Resources*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- CASTELLANOS, A.E., W.L. HALVORSON y D. VALDEZ. 1996. Effects of Land Use-Cover Changes and Buffel Grass Spread within Desert Plant Communities in Central Sonora, Mexico. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- CASTELLANOS, A.E. y F.E. MOLINA-FREANER. 1990. Differential Survivorship and Establishment in *Simmondsia-Chinensis* (Jojoba) *Journal of Arid Environment* 19: 65-76.
- CASTRO, J., R. ZAMORA, J.A. HODAR y J.M. GÓMEZ. 2002. Use of Shrubs as Nurse Plants: A New Technique for Reforestation in Mediterranean Mountains. *Restoration Ecology* 10: 297-305.
- CHAPIN, F.S., P.A. MATSON y H.A. MOONEY. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer, Nueva York.
- CIBERMIRÓN. 2004 (columna anónima) *El Imparcial*. Hermosillo, Sonora, México, febrero 14.
- CONAFOR. 2000. Inventario Nacional Forestal. Comisión Nacional Forestal, México.
- CONAFOR. 2008. Producción de plantas para reforestación (http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal/secciones/demas/compendio2006/Reportes/D3_FORESTAL/D3_RFORESTA09/D3_RFORESTA09_05.htm) consultada en agosto de 2008.
- CONAPESCA. 2005. Estadísticas básicas (http://www.conapescasagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_anuario_estadistico_de_pesca) consultada en agosto de 2008.
- COTECOCA. 1973. Flora del estado de Sonora. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero. México. 53 p.
- COTECOCA. 2002. Diagnóstico de los agostaderos del estado de Sonora. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero. Hermosillo, Sonora, México. 52 pp.
- D'ANTONIO, C.M. y P.M. VITOUSEK. 1992. Biological Invasions by Exotic Grasses, the Grass/Fire Cycle, and Global Change. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23: 63-87.
- DONLAN, C.J. y P.S. MARTIN. 2004. Role of Ecological History in Invasive Species Management and Conservation. *Conservation Biology* 18: 267.
- DREGNE, H.E. 1997. Land Degradation Control in the Drylands. En: H.N. Barakat y A.K. Hegazy, eds. *Reviews in Ecology. Desert Conservation and Development*. Metropole, Cairo, pp. 73-88.
- FARJON, A. 1984. Pines. Drawings and Descriptions of the Genus *Pinus*. Brill, Leiden, Países Bajos.
- FERNÁNDEZ, R.J., E.R.M. ARCHER, A.J. ASH, H. DOWLATABADI, P.H.Y. HIERNAX, J.R. REYNOLDS, C.H. VOGEL, B.H. WALKER y T. WIEGAND. 2002. Degradation and Recovery in Socio-ecological Systems: A View from the Household/Farm Level. En: J.F. Reynolds y D.M. Stafford Smith, eds. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* Dahlem University Press, Berlín, Alemania, pp. 297-323.
- FLORES, J. y E. JURADO. 2003. Are Nurse-Protecte Interactions more Common among Plants from Arid Environments? *Journal of Vegetation Science* 14: 911-916.
- FOSTER, D., F. SWANSON, J. ABER, I. BURKE, N. BROKAW, D. TILMAN y A. KNAPP. 2003. The Importance of Land-Use Legacies to Ecology and Conservation. *Bioscience* 53: 77-88.
- FRANKLIN, K.A., K. LYONS, P.L. NAGLER, D. LAMPKIN, E.P. GLENN, F.E. MOLINA-FREANER, T. MARKOW y

- A.R. HUETE. 2006. Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) Land Conversion and Productivity in the Plains of Sonora, Mexico. *Biological Conservation* 127: 62-71.
- GARCÍA-MOYA, E. y C.M. MCKELL. 1970. Contribution of Shrubs to the Nitrogen Economy of a Desert-Wash Plant Community. *Ecology* 51: 81-88.
- GARNER, W. e Y. STEINBERGER. 1989. A Proposed Mechanism for the Formation of 'Fertile Islands' in Desert Ecosystems. *Journal of Arid Environments* 16: 257-262.
- GUTIÉRREZ, J.R., M. HOLMGREN, R. MANRIQUE y F.A. SQUEO. 2007. Reduced Herbivore Pressure under Rainy ENSO Conditions Could Facilitate Dryland Reforestation. *Journal of Arid Environments* 68: 322-330.
- HALVORSON, W.L., A.E. CASTELLANOS y J. MURRIETA. 2003. Sustainable Land Use Requires Attention to Ecological Signals. *Environmental Management* 32: 551-558.
- HERRMANN, S.M. y C.F. HUTCHINSON. 2005. The Changing Context of the Desertification Debate. *Journal of Arid Environments* 64: 538-555.
- HOBBS, R.J. y D.A. NORTON. 2004. Ecological Filters, Thresholds, and Gradients in Resistance to Ecosystem Reassembly. En: V.M. Temperton, R.J. Hobbs, T. Nuttle y S. Halle, eds. *Assembly Rules and Restoration Ecology*. Island Press, Washington, pp. 72-95.
- HUXMAN, T.E., K.A. SNYDER, D. TISSUE, A.J. LEFFLER, K. OGLE, W.T. POCKMAN, D.R. SANDQUIST, D.L. POTTS y S. SCHWINNING. 2004. Precipitation Pulses and Carbon Fluxes in Semiarid and Arid Ecosystems. *Oecologia* 141: 254-268.
- INEGI. 2006. Superficie total por entidad federativa según uso del suelo y vegetación. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (http://sni.drus.inegi.gob.mx/CUADROS/Uso_Suelo.pdf) México, octubre 10.
- INEGI. 2007. Perspectiva Estadística Sonora. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 88 p.
- JOHNSON, D.G. y A. AGUAYO. 1973. Adaptación y producción de diez especies de zacates perennes bajo condiciones de temporal, en un matorral arbosufruticosa del estado de Sonora. P73001. CIPES, Hermosillo, Sonora, México.
- JOHNSON, P.M., K. MAYRAND y M. PAQUIN. 2006. *Governing Global Desertification. Linking Environmental Degradation, Poverty and Participation*. Ashgate, Hampshire, Inglaterra.
- LARCHER, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups. 3a ed. Springer, Berlín, Alemania.
- LEJEUNE, L. 1995. *Tierras mexicanas*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México.
- LÓPEZ, D. 2007. Changes in Carbon and Nitrogen with Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) Introduction in Sonora, Mexico. Biological Sciences, Northern Arizona University. Master in Science. Flagstaff, Arizona, 67 p.
- LÓPEZ-PORTILLO, J. y C. MONTAÑA. 1999. Spatial Distribution of *Prosopis glandulosa* var. *torreyana* in Vegetation Stripes of the Southern Chihuahuan Desert. *Acta Oecologica* 20: 197-208.
- MARSHALL, J.T.J. 1957. *Birds of Pine-Oak Woodlands in Southern Arizona and Adjacent Mexico*. Cooper Ornithological Society, Berkeley, California.
- MARTÍNEZ, M.J. 1998. Sucesión en campos de cultivo abandonados en la región agrícola de la Costa de Hermosillo: fisiología ecológica de las especies vegetales dominantes durante la sucesión e implicaciones para la restauración. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Maestría en Ciencias. Ensenada, Baja California, México, 98 p.
- MAUCHAMP, A., C. MONTANA, J. LEPART y S. RAMBAL. 1993. Ecotone Dependent Recruitment of a Desert Shrub, *Flourensia cernua*, in Vegetation Stripes. *Oikos* 68: 107-116.
- MCAULIFFE, J.R. 1984. Sahuaro-Nurse Tree Associations in the Sonoran Desert: Competitive Effects of Sahuaros. *Oecologia* 64: 319-321.
- MCCCLARAN, M.P. y M.E. ANABLE. 1992. Spread of Introduced Lehmann Lovegrass along a Grazing Intensity Gradient. *The Journal of Applied Ecology* 29: 92-98.
- MCCCLARAN, M.P. y T.R. VAN DEVENDER. 1995. The Desert Grassland. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- MCINTYRE, S. y S. LAVOREL. 2001. Livestock Grazing in Sub-Tropical Pastures: Steps in the Analysis of Attribute Response and Plant Functional Types. *Journal of Ecology* 89: 209-226.
- MCNAUGHTON, S.J., L.L. WALLACE y M.B. COUGHENOUR. 1983. Plant Adaptation in an Ecosystem Context: Effects of Defoliation, Nitrogen, and Water on Growth of an African C4 Sedge. *Ecology* 64: 307-318.
- MÉNDEZ, R. 2007. Restauración en campos agrícolas abandonados: interacciones bióticas y aplicación de

- la teoría ecológica. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Maestría en Ciencias. Ensenada, Baja California, México, 126 p.
- MORALES-ROMERO, D. y F.E. MOLINA-FREANER. 2008. Influence of Buffelgrass Pasture Conversion on the Regeneration and Reproduction of the Columnar Cactus, *Pachycereus pecten-aboriginum*, in Northwestern Mexico. *Journal of Arid Environments* 72: 228-237.
- MORENO, J.L. 2000. Apropiación y sobreexplotación del agua subterránea en la Costa de Hermosillo: 1945-2000. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Occidente, Universidad de Guadalajara. Doctorado. Guadalajara, Jalisco, México, 393 p.
- PADILLA, F.M. y F.I. PUGNAIRE. 2006. The Role of Nurse Plants in the Restoration of Degraded Environments. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4: 196-202.
- PATROCIPES. 1995. Guía práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate buffel. Gobierno del Estado de Sonora/UGRS/Sagar, Hermosillo, Sonora, México.
- PÉREZ, E.P. y E. CAMOU. 2004. Pecuarización y mercado internacional. En L.M. Hernández, ed. *Historia ambiental de la ganadería en México*. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México, pp. 233-240.
- PERRAMOND, E. 2000. A Preliminary Analysis of Soil Erosion and Buffelgrass in Sonora, Mexico. *Yearbook, Conference of Latin American Geographers* 26: 131-138.
- PERRAMOND, E. 2004. La ganadería sonorense y los cambios ecológicos. En: L.M. Hernández, ed. *Historia ambiental de la ganadería en México*. Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México, pp. 108-113.
- PETERS, D.P.C. y K.M. HAVSTAD. 2006. Nonlinear Dynamics in Arid and Semi-Arid Systems: Interactions among Drivers and Processes Across Scales. *Journal of Arid Environments* 65: 196-206.
- PFEFFERKORN, I. 1989. *Sonora: A Description of the Province*. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- POTTS, D.L., T.E. HUXMAN, J.M. CABLE, N.B. ENGLISH, D.D. IGNACE, J.A. EILTS, M.J. MASON, J.F. WELTZIN y D.G. WILLIAMS. 2006. Antecedent Moisture and Seasonal Precipitation Influence the Response of Canopy-Scale Carbon and Water Exchange to Rainfall Pulses in a Semi-Arid Grassland. *New Phytologist* 170: 849-860.
- RAMÍREZ, F., J.A. BECERRA, V.M. DEL CID y J.C. SERVIN. 1981. Parcelas experimentales de adaptación y producción de zacates en el estado de Sonora. P81005. CIPES. Hermosillo, Sonora, México, 4 p.
- REYNOLDS, J.F., R.A. VIRGINIA, P.R. KEMP, A.G. DE SOYZA y D.C. TREMMEL. 1999. Impact of Drought on Desert Shrubs: Effects of Seasonality and Degree of Resource Island Development. *Ecological Monographs* 69: 69-106.
- ROMO, J.R. 2006. Conservation and the Changing Pattern of Land Cover and Land Use in Central Sonora, Mexico. Environmental Sciences and Policy, Northern Arizona University. Master of Science. Flagstaff, Arizona, 103 p.
- RYEL, R.J., M.M. CALDWELL, A.J. LEFFLER y C.K. YODER. 2003. Rapid Soil Moisture Recharge to Depth by Roots in a Stand of *Artemisia tridentata*. *Ecology* 84: 757-764.
- RZEDOWSKI, J. 1978. *Tipos de vegetación de México*. Limusa, México.
- RZEDOWSKI, J. 1993. Diversity and Origins of the Phanerogamic Flora of Mexico. En: T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa, eds. *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 129-146.
- SAGARHPA. 2007. Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Sonora (<http://www.oeidrus-sonora.gob.mx>) agosto 2008.
- SAGARPA. 1995. Aprovechamiento de carbón vegetal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura. Hermosillo, Sonora, México.
- SALA, O.E., F.S. CHAPIN, J.J. ARMESTO, E. BERLOW, J. BLOOMFIELD, R. DIRZO, E. HUBER-SANWALD, L.F. HUENNEKE, R.B. JACKSON, A. KINZIG, R. LEEMANS, D.M. LODGE, H.A. MOONEY, M. OESTERHELD, N. LEROY POFF, M.T. SYKES, B.H. WALKER, M. WALKER y D.H. WALL. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- SALAZAR, M.C. 2003. Ranchos cinégeticos, única alternativa para animales en extinción. *El Imparcial*, Hermosillo, Sonora, México, febrero 8.
- SAUCEDO-MONARQUE, E. 1994. La introducción de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L) en el estado de Sonora, un factor de modificación de la vegetación. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Maestría en Ciencias. Montecillo, Estado de México, 129 p.
- SAUCEDO-MONARQUE, E., E. GARCÍA-MOYA, A.E. CASTELLANOS y J.L. FLORES-FLORES. 1997. La riqueza, una variable de respuesta de la vegetación a la introducción del zacate buffel. *AgroCiencia* 31: 83-90.

- SCHLESINGER, W.H., A.D. ABRAHAMAS, A.J. PARSONS y J. WAINWRIGHT. 1999. Nutrient Losses in Runoff from Grassland and Shrubland Habitats in Southern New Mexico: I. Rainfall Simulation Experiments. *Biogeochemistry* 45: 21-34.
- SCHLESINGER, W. H., J.A. RAIKES, A.E. HARTLEY y A.F. CROSS. 1996. On the Spatial Pattern of Soil Nutrients in Desert Ecosystems. *Ecology* 77: 364-374.
- SCHLESINGER, W.H., J.F. REYNOLDS, G.L. CUNNINGHAM, L.F. HUENNEKE, W.M. JARREL, R.A. VIRGINIA y W.G. WHITFORD. 1990. Biological Feedbacks in Global Desertification. *Science* 247: 1043-1048.
- SCHOLZ, F.G., S.J. BUCCI, G. GOLDSTEIN, F.C. MEINZER y A.C. FRANCO. 2002. Hydraulic Redistribution of Soil Water by Neotropical Savanna Trees. *Tree Physiology* 22: 603-612.
- SEAGER, R., M. TING, I.M. HELD, Y. KUSHNIR, J. LU, G. VECCHI, H. HUAN, N. HARNIK, A. LEETMAA, N. LAU, C. LI, J. VÉLEZ y N. NAIK. 2007. Model Projections of an Imminent Transition to a More Arid Climate in Southwestern North America. *Science* 316: 1181-1184.
- SEMARNAT. 2002. Ley General de Vida Silvestre. México.
- SERVÍN, J.C. y F. RAMÍREZ. 1981. Evaluación de nuevas variedades de zacate buffel en el estado de Sonora. P81006. CIPES. Hermosillo, Sonora, México, 3 p.
- SHREVE, F. 1917. The Establishment of Desert Perennials. *Journal of Ecology* 5: 210-216.
- SHREVE, F. 1951. Vegetation of the Sonoran Desert. Publication 591. Carnegie Institution of Washington, Washington, D.C.
- SHREVE, F. y A. HINCKLEY. 1937. Thirty Years of Change in Desert Vegetation. *Ecology* 18: 463-478.
- SISK, T., A.E. CASTELLANOS y G.W. KOCH. 2007. Ecological Impacts of Wildlife Conservation Units Policy in Mexico. *Frontiers in Ecology and Environment* 5: 209-212.
- SPERRY, L.J., J. BELNAP y R.D. EVANS. 2006. *Bromus tectorum* Invasion Alters Nitrogen Dynamics in an Undisturbed Arid Grassland Ecosystem. *Ecology* 87: 603-615.
- STAFFORD-SMITH, D.M. y J.F. REYNOLDS. 2002. The Dahlem Desertification Paradigm: A New Approach to an Old Problem. En: J.F. Reynolds y D.M. Stafford-Smith. eds. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* Dahlem University Press, Berlín, pp. 403-424.
- SUZÁN, H., G.P. NABHAN y D.T. PATTEN. 1996. The Importance of *Olneya tesota* as a Nurse Plant in the Sonoran Desert. *Journal of Vegetation Science* 7: 635-644.
- TAYLOR, M.J. 2006. Biomass in the Borderlands: Charcoal and Firewood Production in Sonoran Ejidos. *Journal of the Southwest* 48: 63-90.
- THOMSON, R. 1989. Pioneros de la Costa de Hermosillo. Artes Gráficas y Editoriales Yescas, Hermosillo, Sonora, México.
- THROOP, H.L. y S.R. ARCHER. 2007. Interrelationships among Shrub Encroachment, Land Management, and Litter Decomposition in a Semidesert Grassland. *Ecological Applications* 17: 1809-1823.
- TURNER, R. M. 1990. Long-Term Vegetation Change at a Fully Protected Sonoran Desert Site. *Ecology* 71: 464-477.
- TURNER, R.M., J.E. BOWERS, T.L. BURGESS y J.R. HASTINGS. 1995. *Sonoran Desert Plants: An Ecological Atlas*. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- VALDEZ-ZAMUDIO, D. 2002. Clave para identificar las principales malezas agrícolas del Valle del Yaqui, Valle de Guaymas y Costa de Hermosillo. *Biotecnia* 4: 17-27.
- VALENZUELA, E. 1982. La Costa de Hermosillo y necesidades de información técnica de los productores agrícolas, en relación a la escasez de agua. Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. Ingeniero Agrónomo, Hermosillo, Sonora, México.
- VAN-AUKEN, O.W. 2000. Shrub Invasions of North American Semiarid Grasslands. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31: 197-215.
- VAN DE KOPPEL, J., M. RIETKERK, F. VAN-LANGEVELDE, L. KUMAR, C.A. KLAUSMEIER, J.M. FRYXELL, J.W. HEARNE, J. VAN-ANDEL, N. de RIDDER, A. SKIDMORE, L. STROOSNIJDER y H.H.T. PRINS. 2002. Spatial Heterogeneity and Irreversible Vegetation Change in Semiarid Grazing Systems. *American Naturalist* 159: 209-218.
- VAN DE KOPPEL, J., M. RIETKERK y F.J. WEISSING. 1997. Catastrophic Vegetation Shifts and Soil Degradation in Terrestrial Grazing Systems. *Trends in Ecology and Evolution* 12: 352-356.
- VAN DE KOPPEL, J. y M. RIETKERK. 2004. Spatial Interactions and Resilience in Arid Ecosystems. *American Naturalist* 163: 113-121.
- VON HARDENBERG, J., E. MERON, M. SHACHAK y Y. ZARMI. 2001. Diversity of Vegetation Patterns and Desertification. *Physical Review Letters* 87: 198101-198104.

- WALKER, B. y J.A. MEYERS. 2004. Thresholds in Ecological and Social-Ecological Systems: A Developing Database. *Ecology and Society* 9: 3.
- WALKER, B.H., N. ABEL, D.M. STAFFORD SMITH y J. LANGRIDGE. 2002. A Framework for the Determinants of Degradation in Arid Ecosystems. En: J.F. Reynolds y D.M. Stafford Smith, eds. *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* Dahlem University Press, Berlín, pp. 75-94.
- WEST, R.C. 1993. *Sonora its Geographical Personality*. University of Texas Press, Austin, Texas.
- WHITFORD, W.G. 2002. *Ecology of Desert Systems*. Academic Press, San Diego, California.
- WISE, M.J. y W.G. ABRAHAMSON. 2005. Beyond the Compensatory Continuum: Environmental Resource Levels and Plant Tolerance to Herbivory. *Oikos* 109: 417-428.
- WISE, M.J. y W.G. ABRAHAMSON. 2007. Effects of Resource Availability on Tolerance of Herbivory: A Review and Assessment of Three Opposing Models. *American Naturalist* 169: 443-454.
- YANES, G. 1999. *Evaluación de los patrones de cambio de la cubierta vegetal y uso de suelo de la parte central del estado de Sonora durante el período 1970-1992, utilizando imágenes Landsat MSS*. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Maestría en Ciencias. Ensenada, Baja California, México, 100 p.

SEGUNDA PARTE

DIVERSIDAD BIOLÓGICA

HONGOS

MARTÍN ESQUEDA,¹ MARTHA CORONADO,² ALDO GUTIERREZ,¹ RICARDO VALENZUELA,³ SANTIAGO CHACÓN,⁴
ROBERT L. GILBERTSON,⁵ TEÓFILO HERRERA,⁶ MARCOS LIZÁRRAGA,⁷ GABRIEL MORENO,⁸
EVANGELINA PÉREZ-SILVA⁶ Y THOMAS R. VAN DEVENDER⁹

RESUMEN. La diversidad fúngica de Sonora, México, incluyendo algunos Protozoa afines, es de 658 especies: Basidiomycota (461), Ascomycota (105), Myxogastria (81), Glomeromycota (7), Zygomycota (2), Chytridiomycota (1) y Protostelia (1). Los géneros con mayor número de especies son *Tulostoma* (27), *Amanita* (22), *Geastrum* (20), *Lycoperdon* (20), *Phellinus* (17), *Physarum* (16) y *Xylaria* (15). Un total de 111 nuevos registros se adicionan a la micobiota sonorensis. *Distorimula mexicana* y *Xylaria striata* var. *sonorensis* están propuestas como especies nuevas. Varias especies comúnmente encontradas en el Desierto Sonorense como *Calvatia pygmaea*, *Disciseda verrucosa* y *Endoptychum arizonicum* son poco conocidas mundialmente.

ABSTRACT. The fungal diversity of Sonora, México, besides some related Protozoa, includes 658 species: Basidiomycota (461), Ascomycota (105), Myxogastria (81), Glomeromycota (7), Zygomycota (2), Chytridiomycota (1), and Protostelia (1). Genera with the highest number of species are *Tulostoma* (27), *Amanita* (22), *Geastrum* (20), *Lycoperdon* (20), *Phellinus* (17), *Physarum* (16), and *Xylaria* (15). A total of 111 new records are added to the Sonoran mycobiota. *Distorimula mexicana* and *Xylaria striata* var. *sonorensis* are proposed as new taxa. Several species commonly found in the Sonoran Desert such as *Calvatia pygmaea*, *Disciseda verrucosa*, and *Endoptychum arizonicum* are poorly known worldwide.

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

² Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.

³ Instituto Politécnico Nacional.

⁴ Instituto de Ecología.

⁵ University of Arizona.

⁶ Universidad Nacional Autónoma de México.

⁷ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

⁸ Universidad de Alcalá de Henares.

⁹ Sky Island Alliance.

INTRODUCCIÓN

Los hongos están considerados entre los organismos más importantes en el mundo debido a su papel vital en el funcionamiento de los ecosistemas y a su influencia directa sobre los humanos e indirecta en sus actividades. Actualmente para la mayoría de las especies sólo existe información incompleta y limitada y el número de taxones estimado difiere significativamente según el autor. Esta carencia de información básica sobre la diversidad taxonómica tiene implicaciones relevantes sobre varios aspectos de la biología evolutiva, *v.g.*, hipótesis filogenéticas, relaciones coevolutivas, interpretación de patrones biogeográficos y aprovechamiento integral de los programas de monitoreo, entre otros (Mueller y Schmit, 2007).

El número estimado de 1.5 millones de especies fúngicas se basa primeramente en la relación entre la diversidad de plantas y hongos en países donde están suficientemente estudiados para una estimación realista. Se ha reportado una relación de 1:5 a 1:7 de especies de planta: hongo para Finlandia, Suiza y Reino Unido; si empleamos la relación 1:5 con un estimado de trescientas mil plantas se genera dicha cantidad de especies de hongos en el planeta (Hawksworth, 1991). Aunque se ha cuestionado reiteradamente estos datos, asumiendo correcta esta estimación, podemos señalar que se ha descrito menos de cinco por ciento de los hongos.

Los grupos menos conocidos corresponden a Dematiáceos e Hyphomycetes acuáticos (0.4%), hongos específicos de insectos (1.5%), Mucorales (1.5%) y, entre los mejor conocidos, macrolíquenes (67.5%), Protozoa afines a hongos (Myxomy-

cetes) (50%) y Pezizales (34%). Si a todo esto le sumamos que anualmente se describen de mil a mil doscientos especies nuevas de hongos a nivel mundial, se calcula que por lo menos se requieren aproximadamente mil años para conocer los taxones restantes. Los esfuerzos para estimar la diversidad global de los hongos de forma rigurosa son escasos, aun cuando estos organismos resultan importantes para la conservación de la biodiversidad, manejo y planeación del uso de la tierra y en temáticas afines (Mueller y Schmit, 2007).

Recientemente Schmit y Mueller (2007) realizaron una estimación conservadora sobre el número de especies a escala mundial, para lo cual consideraron la distribución geográfica y diversidad de grupos morfológicos y ecológicos de hongos (macromicetos, micromicetos sobre material vegetal, líquenes, hongos acuáticos y del suelo, hongos asociados con artrópodos, hongos liquenícolas y microsporidios), a fin de estimar una relación mínima en el número de planta:hongo en diferentes regiones del mundo. Además, esta relación se acopló con los datos de endemismo de hongos y, en total, dichos autores estimaron que existe un mínimo de 712 285 especies de hongos en el mundo, de los que más de 82% son micromicetos asociados con plantas terrestres. Aproximadamente 13% del total de especies se ha descrito y solamente 7% de los micromicetos asociados con plantas. La distribución biogeográfica, el nivel de endemismo y la especificidad de hospederos se consideran como los datos más relevantes para calcular la diversidad fúngica global con mayor precisión.

Guzmán (1998a) estableció el número de especies de hongos en México con base en los taxones fúngicos con una asociación obligada con animales y plantas vasculares y de especies saprobias, extrapolando el número de hongos de la Gran Bretaña a México, asumiendo la micobiota británica como la mejor conocida en el mundo y considerando para el país el número de taxones conocidos en el estado de Veracruz, el más estudiado en la República Mexicana. El promedio de estos tres cálculos resultó en aproximadamente doscientos mil especies de hongos para México. De éstos, solamen-

te 3.5% se conocen, a pesar de los avances considerables que se ha realizado en el inventario sobre la micobiota del país en los últimos treinta años. Dicho autor concluyó que es necesario promover estudios sobre taxonomía, formar más especialistas y elaborar monografías sobre diversos grupos fúngicos.

Los estudios sobre la micobiota de Sonora son limitados y los avances más importantes han sucedido en los últimos años. Aunque el conocimiento sobre la mayoría de los grupos es escaso, diversos géneros de hongos gasteroides característicos de zonas áridas se han estudiado con mayor énfasis (Esqueda *et al.*, 1995a, 2003 y 2004). Con base en el presente trabajo se conocen 658 taxones de hongos para Sonora, incluyendo 111 nuevos registros para esta entidad federativa. Aunque actualmente, en un sentido estricto, Myxomycota se ha excluido del reino Fungi y forma parte del reino Protozoa, en esta revisión se incluyó por sus características afines con los hongos, como son la producción de esporas y sus fructificaciones.

En las referencias bibliográficas sobre lo estudiado de los hongos en Sonora, en la mayoría de ellas se mencionan los números de herbario de las recolecciones determinadas, las cuales están depositadas en la Colección de Macromicetos del Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (Cesues), el Herbario Nacional de la Universidad Nacional Autónoma de México (Mexu), la Colección de Hongos «Dr. Gastón Guzmán Huerta» del Herbario Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB), la Colección de Hongos del Instituto de Ecología, Unidad Xalapa (Xal) y el Herbario del Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Alcalá de Henares (AH). Asimismo, se incluyeron las recolecciones de los doctores R.L. Gilbertson y T.R. Van Dender procedentes de la Reserva de la Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui y depositadas en el Herbario de la Universidad de Arizona (Ariz).

PROTOZOA: MYXOGASTRIA Y PROTOSTELIA

En México, el estudio de estos Protozoa afines con

hongos se inició por Macbride y Smith (1896), quienes citaron 13 especies para la mixobiota mexicana. De esa fecha a la actualidad se han publicado diversas revisiones bibliográficas sobre este grupo (Braun y Keller, 1976; Ogata *et al.*, 1994; Illana *et al.*, 2000; Moreno *et al.*, 2007b). Con respecto a Sonora, se conocía como única cita a *Fuligo cinerea* (Braun y Keller, 1976). Se considera como primer estudio para este estado el realizado por Pérez-Silva *et al.* (2001a), quienes registraron 17 taxones, de los cuales *Diachea subsessilis*, *Didymium rubropus* y *Trichia affinis* se citaron por primera vez para México.

Posteriormente, Moreno *et al.* (2004) encontraron seis especies características de zonas áridas en la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, donde *Physarum robustum* fue un nuevo registro para la mixobiota mexicana. Moreno *et al.* (2006) estudiaron 26 taxones provenientes de la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe, de los cuales 23 fueron nuevos registros para Sonora. Lizárraga *et al.* (2007 y 2008), continuando con los estudios de los Myxomycetes de la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe y Reserva de la Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui, estudiaron 55 especies, de las cuales 35 se registraron por vez primera para la mixobiota de Sonora y con lo que el conocimiento actual sobre este grupo asciende a 82.

Con base en el último catálogo de los Myxomycetes de México (Moreno *et al.*, 2007b), se han registrado 307 taxones, repartidos en 297 especies y diez variedades, para la mixobiota mexicana. Esto representa 33% de las aproximadamente novecientas especies conocidas a escala mundial. Las entidades federativas más estudiadas son Baja California, Chihuahua, Jalisco, Quintana Roo, Sonora, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán, con más de setenta taxones cada una. Con respecto a Arizona, Estados Unidos, Bates y Barber (2008) presentaron un listado de 143 especies de Myxomycetes. En Sonora, el segundo estado más grande de México, los 82 taxones citados representan 9.1% de los Myxomycetes conocidos en el ámbito mundial y 26.7%

en el nacional. Las 143 especies registradas para Arizona constituyen 16% de las especies conocidas en el mundo y 48% de las registradas para México.

De los 82 taxones citados para Sonora, 35 de ellos no se encuentran en el listado de Arizona, tal vez porque los estudios sobre Myxomycetes en Sonora se han enfocado al trópico y a los bosques (Moreno *et al.*, 2006; Lizárraga *et al.*, 2007 y 2008), pero poco al desierto. En contraste, en Arizona buena parte de las exploraciones se han realizado en zonas desérticas (Evenson, 1961; Blackwell y Gilbertson, 1980a, 1980b y 1984). Estos datos nos señalan la necesidad de continuar con más estudios en los diferentes ecosistemas de Sonora para llegar a un mejor conocimiento de la biodiversidad de la mixobiota sonorensis.

HONGOS FILAMENTOSOS Y METABOLITOS SECUNDARIOS

Ranzoni (1968) aisló 229 especies de micromicetos en el suelo de 24 localidades ubicadas en el Desierto Sonorense, una de ellas en Sonora, donde encontró 31 taxones. Esta área estaba dominada por *Acacia*, *Fouquieria*, *Parkinsonia*, *Prosopis* y pastos; el pH del suelo fue de 6.4 y la cantidad promedio de hongos de 3.0×10^3 unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de suelo base seca. Los resultados sugieren que al parecer no existe una micobiota característica en los suelos de desierto. Los hongos imperfectos melánicos se presentan en gran número, aunque no necesariamente en una mayor diversidad de especies comparados con las formas no melánicas. Muchos de los micromicetos aislados están distribuidos a escala mundial. El suelo contiene muchos taxones más comúnmente asociados con estiércol y patógenos de animales y plantas.

Padilla *et al.* (2006) encontraron en un área de cultivo de melón en la Costa de Hermosillo, Sonora, diversas especies de hongos filamentosos: *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. y *Penicillium* spp., entre otros. En la mayoría de los taxones determinados, el número de UFC no cambió significativa-

mente entre el período de siembra y de cosecha, incluyendo todos los tratamientos donde se aplicaron biofertilizantes. En el muestreo inicial, treinta por ciento de las UFC correspondió a *Aspergillus* spp. Este predominio es común en zonas áridas, ya que las especies de este género toleran amplios rangos de temperatura, pH y salinidad del suelo. Las especies xerófilas del subgénero *Aspergillus* y muchas especies de la sección *Nidulantes* y *Circumdati* se presentan con mayor frecuencia a la esperada en suelos desérticos (Klich, 2002). En la rizósfera de melón predominó el subgénero *Circumdati*.

Meza-Moller *et al.* (2007) estudiaron la variabilidad morfológica, reacción de anastomosis, patogenicidad y susceptibilidad a fungicidas de *Rhizoctonia solani* aislado de la rizósfera de *Vitis vinifera* var. *perlette seedless* plantada a pie franco en Sonora. Las 122 cepas obtenidas presentaron hifas con 3 a 9 núcleos por célula, de 3 a 8 μm de diámetro y de color blanco sucio a moreno oscuro. Los aislamientos correspondieron al grupo anastomótico AG-4 y a dos grupos de incompatibilidad vegetativa. Cien por ciento de las cepas inoculadas causaron pudrición de raíces con lesiones mayores a cinco milímetros de longitud y fueron susceptibles a las concentraciones evaluadas de los fungicidas tolclofos-metil, tiabendazol y, en menor grado, a azoxistrobin. Los autores concluyeron que *R. solani* es un patógeno potencial para *V. vinifera* var. *perlette seedless* en viñedos de Sonora.

Cortez-Rocha *et al.* (2003) estudiaron el porcentaje de granos de maíz infectados por mohos en Sonora, el cual varió significativamente entre las localidades y el año de muestreo. Las especies aisladas más comúnmente fueron *Fusarium moniliforme*, *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *A. glaucus*, *A. ochraceus* y *Alternaria* spp. Especies de otros hongos filamentosos se encontraron en menor cantidad como *Rhizopus*, *Mucor*, *Cladosporium*, *Helminthosporium* y *Nigrospora*. Asimismo, registraron por primera vez la presencia de fumonisinas y en algunas muestras la concentración detectada fue mayor al nivel considerado seguro para animales. La fumonisina B₁ fue detectada en todas las muestras analizadas. El rango de fumonisinas fue de <1 a 8.8 μg /

kg, lo cual indica que estos metabolitos podrían presentarse frecuentemente en el maíz de Sonora.

En Sonora se realizó otro estudio con metabolitos secundarios de *Aspergillus* del contenido de aflatoxina M₁ (AFM₁) de leche en polvo y fluida pasteurizada comercializadas en Hermosillo, Sonora. El contenido promedio de AFM₁ por marca de leche en polvo varió de 0.13 a 0.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y de 0.13 a 0.27 $\mu\text{g}/\text{L}$ en leche fluida. La concentración más alta de AFM₁ registrada en la leche en polvo fue de 0.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y en la leche fluida de 0.49 $\mu\text{g}/\text{L}$. Ninguna muestra rebasó el nivel máximo de 0.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ permitido por la FDA (Food and Drug Administration) (Esqueda *et al.*, 1995c).

HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

En un estudio sobre los patrones en la composición y distribución de hongos micorrízicos arbusculares en regiones áridas del suroeste de Norteamérica y Namibia, África, Stutz *et al.* (2000) determinaron siete especies en las planicies del Desierto Sonorense en La Trinidad, Sonora: *Archaeospora trappei*, *Diversispora spurca*, *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *G. microaggregatum*, *G. mosseae* y *Glomus* AZ123 (tabla 1), las cuales se observaron en todas las localidades muestreadas en el Desierto Sonorense, Chihuahuense y de Namibia, así como en pastizales semiáridos. La riqueza de especies en cada sitio muestreado varió entre seis y doce taxones, predominando los hongos de esporas pequeñas de Glomaceae y Acaulosporaceae. Estos resultados indican la evolución de los procesos históricos en la dispersión y condiciones ambientales específicas sobre la determinación en la composición de especies en las zonas áridas.

En un área de cultivo de melón en la Costa de Hermosillo se encontró una cantidad de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) de 14 a 17 esporas/100 g de suelo, identificándose *Glomus* aff. *deserticola* y *G.* aff. *intraradices* (Padilla *et al.*, 2006). Los factores que influyen sobre la ocurrencia y efectividad de las asociaciones micorrízicas son las propiedades de la raíz, factores edáficos y

Tabla 1. Hongos micorrízicos arbusculares presentes en el Desierto Sonorense y su distribución en otros desiertos

Especies micorrízicas arbusculares	Desierto de Chihuahua	Subdivisiones del Desierto Sonorense			Pastizales semiáridos	Desierto de Namibia
		Altiplano de Arizona	Valle del Bajo Río Colorado	Planicies de Sonora		
Acaulosporaceae						
<i>Archaeospora trappei</i>	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Glomaceae						
<i>Diversispora spurca</i>	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<i>Glomus etunicatum</i>	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<i>Glomus intraradices</i>	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<i>Glomus microaggregatum</i>	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<i>Glomus mosseae</i>	◆	◆	◆	◆	◆	◆

Fuente: Stutz *et al.* (2000).

climáticos, compatibilidad hospedero-hongo y organismos presentes en el suelo (Brundrett, 1991). Si bien la temperatura alta del suelo puede favorecer la esporulación y colonización micorrízica, también podría coadyuvar en el desarrollo de una enfermedad causada en el melón por *Monosporascus cannonballus* (Pivonia *et al.*, 2002). En el ciclo de cultivo de melón evaluado no se registraron enfermedades y aunque se encontró 12% de las raíces colonizadas con HMA, no se observaron arbusculos ni vesículas. Se considera que al no formarse estas estructuras la interacción planta-hongo no es óptima, ya que los arbusculos cumplen la función de intercambio de nutrientes y las vesículas de almacenamiento (Smith y Read, 1997).

ASCOMYCETES

Estos hongos se reconocen por sus esporas sexuales producidas en una estructura llamada asca. Los cuerpos fructíferos presentan formas, tamaños y colores muy variados y es factible encontrarlos como parásitos de plantas y animales o simplemente desarrollándose en suelo, agua, madera, etcétera. En nuestro país hasta ahora ha recibido poca atención, al igual que otros grupos de hongos, aun cuando comprenden el mayor número de especies en el reino Fungi, con aproximadamente treinta y dos mil (Kirk *et al.*, 2001). A pesar de ello, y excluyendo los anamorfos (estados asexuales) de Ascomycetes citados por Ranzoni (1968), el primer re-

gistro corresponde a *Daldinia vernicosa*, procedente del Desierto de Altar (Pérez-Silva, 1973).

En la década de los años noventa, Esqueda *et al.* (1992) iniciaron formalmente los estudios sobre este grupo de hongos en Sonora y registraron 14 especies, destacando *Peziza abietina*, *P. brunneoatra*, *Humarina permuda* y *Scutellinia umbrosum* como nuevos registros para la micobiota de México. En un estudio sobre los hongos de la zona urbana de Hermosillo, Esqueda *et al.* (1995b) citaron a *Xylaria hypoxylon*, especie cosmopolita. Posterior a ello se presentaron 28 taxones, siendo *Arachnopeziza aurelia* y *Helvella ephippium* nuevas citas para México (Pérez-Silva *et al.*, 1996); la primera se colectó sobre bellotas de *Quercus chihuahuensis* en bosque de encino y la segunda en bosque de pino-encino con un hábito gregario.

San Martín *et al.* (1999b) citaron a *Xylaria feejeensis sensu stricto* por vez primera para México; *Daldinia eschscholzii* y *Xylaria poitei* para Sonora, además de la propuesta de *Xylaria striata* var. *sonorensis* como una nueva variedad. Después se registraron dos taxones de *Hypoxylon* y tres de *Xylaria* (San Martín *et al.*, 1999c) y se presentó un género y especie nuevos para la ciencia: *Distorimula mexicana* (San Martín *et al.*, 1999a). Méndez-Mayboaca *et al.* (2007) citaron los primeros 17 Ascomycetes para la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe, destacando a *Cordyceps sobolifera* y *Bisporella citrina*, ambos como segundo registro para México. *C. sobolifera* se encontró sobre una larva de *Quesada gigas* en matorral

subtropical. *B. citrina*, aunque es una especie de amplia distribución mundial, recientemente se citó por primera vez para México en una localidad de Veracruz (Medel, 2002). En Sonora, esta especie se observó con una distribución restringida a regiones templadas sobre madera en descomposición en bosque de pino-encino. La referencia más reciente corresponde a Méndez-Mayboca *et al.* (2008) con la descripción de ocho nuevos registros de Ascomycetes para México procedentes de la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. *Eutypa koschkelovae* y *E. podanthi* se registraron por segunda vez a escala mundial.

El número de ascomicetos macroscópicos conocidos para Sonora hasta 2008 corresponde a 83 taxones. Pyrenomycetes es el grupo con más especies (45 spp.), incluidas en cinco familias: Chaetomiaceae (1), Clavicipitaceae (4), Hypocreaceae (2), Diatrypaceae (7) y Xylariaceae (31). En orden descendente siguen los Discomycetes con 28 especies, adscritas a las familias Helotiaceae (3), Helvellaceae (12), Hyaloscyphaceae (1), Leotiaceae (1), Morchellaceae (1), Peziaceae (4) y Pyronemateae (6). A nivel de género sobresalen entre los Pyrenomycetes, *Xylaria* (15 spp.), *Daldinia* (7 spp.) e *Hypoxylon* (5 spp.). De los Discomycetes, los géneros mejor representados son *Helvella* (12 spp.), *Peziza* (4 spp.) y *Scutellina* (3 spp.). Además, destaca el registro de especies de Hysteriales (Loculoascomycetes), donde recientemente se citaron por primera vez para la microbiota de México: *Gloniopsis praelonga*, *Hysterium insidens* e *H. truncatulum* (Méndez-Mayboca *et al.*, 2008).

En un breve análisis de la diversidad de Ascomycetes registrados para Sonora, comparada con el conocimiento a escala mundial, nacional y de Arizona, Estados Unidos, este último por su vecindad geográfica, se observa que en México, hasta 2007, se registraron 687 especies (García-Romero *et al.*, 1970; Chacón y Guzmán, 1983; Medel *et al.*, 1999; Medel, 2007). Éstas, comparadas con las treinta y dos mil que se consideran en el mundo (Kirk *et al.*, 2001), representan 2.1%. Guzmán (1998a) estimó que en México podrían crecer alrededor de doscientas mil especies de hongos y, de ser así, los

687 taxones comprenderían 0.34% de la diversidad fúngica mexicana. Considerando los ascomicetos micro y macroscópicos, las ciento cinco especies conocidas en Sonora representan 15.2% de los ascomicetos citados para México y el equivalente 0.05% de la diversidad estimada para el país. De acuerdo con Bates (2006), en Arizona se conocen mil doscientas noventa especies de macromycetos, de los cuales 98 son Ascomycetes y representan (0.31% de la diversidad a escala mundial) un porcentaje cercano a 0.26% de Sonora, excluyendo los ascomicetos microscópicos.

Entre los Ascomycetes, los microscópicos son los más numerosos y menos conocidos, y en los macroscópicos los Pezizales y Xylariales son de los más estudiados en el mundo. Lo anterior también se cumple para México, Sonora y Arizona. Aunque en los dos primeros el conocimiento sobre Xylariales es significativamente mayor, mientras que en Arizona, de las 98 especies, setenta corresponden a Discomycetes (Pezizales).

Con respecto a los tipos de vegetación de donde proceden los Ascomycetes de Sonora, se observan por lo menos seis tipos: bosque de pino-encino, bosque de pino-encino asociado con galerías, bosque de encino, matorral desértico micrófilo, mezquital y matorral subtropical; el mayor porcentaje de especies se observó en el bosque de pino-encino. Referente a México, la mayor cantidad de taxones provienen de bosques tropicales y de niebla, también conocido como bosque mesófilo de montaña (Medel, 2007).

Los sustratos donde crecen los Ascomycetes en México y las entidades en comparación (Sonora y Arizona), la gran mayoría son lignícolas, colonizando ramas y troncos caídos. Como ejemplos representativos, la mayor parte de Pyrenomycetes y un buen número de Discomycetes. Entre los géneros con especies típicas que crecen sobre suelo, destacan *Helvella*, *Morchella* y *Peziza*. Los dos primeros con especies utilizadas en el arte culinario en distintas regiones de México. De las especies registradas para Sonora, sólo una se encontró sobre estiércol vacuno (*Poronia punctata*) y una sobre larva de un insecto Cicadidae (*Cordyceps sobolifera*). Las

cifras dadas sobre los Ascomycetes conocidos para Sonora (105 spp.), Arizona (98 spp.) y México (687 spp.), son bajas y revelan un conocimiento pobre sobre este grupo de hongos, por lo que aún falta mucho por realizar.

BASIDIOMYCETES

Tremellales

Pérez-Silva y Esqueda (1992) registraron las primeras 12 especies de hongos gelatinosos para Sonora; de éstos, *Tremella fibulifera* y *Dacryopinax yungensis* se citaron por primera vez para México. La mayoría de las especies determinadas son saprobias lignícolas sobre troncos y ramas muertas de *Quercus* spp. y *Pinus* spp. Se encontraron dos especies comestibles consumidas en el centro del país: *Auricularia auricula-judae* y *A. delicata*; la primera especie fue el primer hongo cultivado en el mundo. En un estudio realizado sobre los hongos que crecen en la zona urbana de Hermosillo (Esqueda *et al.*, 1995b), se observó sólo un hongo tremeloiide *Dacryopinax spathularia*.

Los especímenes estudiados de este último se recolectaron sobre madera de pino en un predio particular, con condiciones ambientales de alta humedad, lo cual, junto con las altas temperaturas alcanzadas durante el verano, simulaban un microambiente tropical. Lowy (1971) observó que el basidioma en *Dacryopinax spathularia* frecuentemente es espatulado en zonas templadas y a menudo ramificado a policefálico en material neotropical. Estas últimas características se encontraron en el material estudiado y con ello se determinó la influencia del medio ambiente sobre el fenotipo de la especie. Finalmente, en un estudio realizado en la Reserva de la Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui (Esqueda *et al.*, 1999) se encontraron dos especies de hongos gelatinosos: *Auricularia polytricha* y *Exidia glandulosa*, la primera con una distribución amplia en el área de muestreo y la segunda restringida a una localidad. A escala nacional se han registrado alrededor de ochenta es-

pecies de este grupo de hongos (Guzmán, 1998b), lo cual representaría aproximadamente 25% de los Tremellales conocidos en Sonora, incluidos los nuevos registros del presente trabajo.

Hongos gasteroides

Este grupo de hongos es uno de los mejor conocidos y con el mayor número de publicaciones sobre la micobiota de Sonora. Se cuenta con un registro de 121 taxones y aunque existen publicaciones desde mediados del siglo pasado la referencia más antigua corresponde a Zeller (1948), quien propuso a *Morganella mexicana* como una especie nueva para la ciencia. Sin embargo, las contribuciones más importantes se han realizado en los últimos diez años.

La familia Lycoperdaceae cuenta con más de treinta especies registradas, destacando los géneros *Disciseda*, *Lycoperdon* y *Calvatia*. En la micobiota mexicana, y dentro de esta familia, *Lycoperdon excipuliforme*, *L. utrifforme*, *Disciseda cervina* y *D. verrucosa* solamente se han citado para Sonora (Esqueda *et al.*, 1990, 1995a y 1996; Aparicio-Navarro *et al.*, 1994; Pérez-Silva *et al.*, 1994 y 2000). *Calvatia pygmaea* es una interesante especie bovistoiide xerófila, la cual era prácticamente desconocida hasta estudios realizados recientemente en Baja California y Sonora. Contrario a su escaso conocimiento a escala mundial, es un taxón frecuentemente recolectado en las planicies del Desierto Sonorense en suelos básicos, bajo *Bursera*, *Parkinsonia* y *Olneya* (Moreno *et al.*, 2007a). *Disciseda hyalothrix* se ha recolectado en regiones áridas del noroeste de México: Chihuahua, Sonora y Baja California. *D. stuckertii* recientemente se propuso como una combinación nueva con base en recolecciones del Estado de México, Distrito Federal y diversos municipios de Sonora; asociada con vegetación de matorral desértico micrófilo, matorral espinoso y mezquital (Moreno *et al.*, 2007a). En el continente americano, *D. verrucosa* se ha citado únicamente para Sonora, encontrándose en ambientes áridos, semiáridos y templados y predominando en los dos primeros (Pérez-Silva *et al.*, 2000; Moreno *et al.*, 2007a).

La familia Tulostomaceae cuenta con 32 taxones citados de los géneros *Battarrea*, *Battarreoides*, *Chlamydompus*, *Phellorinia*, *Schizostoma* y *Tulostoma* para la micobiota sonorensis. De este último género, *T. cyclophorum*, *T. floridanum*, *T. mohavei*, *T. involucreatum*, *T. portoricense*, *T. squamosum*, *T. striatum* y *T. xerophilum*, únicamente se conocen para Sonora en la micobiota mexicana. En México, Sonora, con 27 especies, es el estado donde se tiene el mayor número de registros para *Tulostoma* (Wright *et al.*, 1972; Guzmán, 1975; Wright, 1987; Esqueda *et al.*, 2004), seguido por Baja California con diez (Moreno *et al.*, 1995). Aunque existen solamente dos registros de *T. portoricense* a escala mundial —de Puerto Rico, la localidad tipo y de Sonora, México—, se considera una buena especie con base en su combinación de caracteres morfológicos, particularmente por su ornamentación esporal (Esqueda *et al.*, 1998a). *Dictyocephalos attenuatus* destaca en esta familia debido a su escaso conocimiento sobre su distribución a escala mundial, circunscrito a regiones áridas en Estados Unidos, África, España y México —Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar (Esqueda *et al.*, 1998b).

El macromiceto más grande observado en Sonora corresponde a *Battarrea phalloides* con una altura hasta de 65 centímetros; asimismo, es el ejemplar de esta especie más alto registrado para México (Esqueda *et al.*, 2002). Se observó en un área de inundación del estero Tastiota en Hermosillo, Sonora, la cual está cubierta por vegetación halófila, *v.g.*, *Atriplex barclayana*, *Frankeria palmeri* y *Salicornia pacifica*, entre otras. Con un hábito similar, Jacobson *et al.* (1999) observaron 74 basidiomas de *B. phalloides* en un área de inundación temporal del río Kuiseb en el oeste de Namibia, África. Esta especie es utilizada por los indios Paiute de Nevada, Estados Unidos, como un cataplasma para inflamaciones y heridas. Felger y Moser (1991) registraron el uso de *Battarreoides diguetii*, taxonómicamente cercano a *B. phalloides*, por los indios seri en La Costa de Hermosillo, Sonora, para curar cortadas, heridas o quemaduras aplicándose la masa de esporas del hongo.

Podaxis pistillaris es una especie ampliamente distribuida y frecuentemente citada para las zonas áridas en la micobiota sonorensis; también es común recolectar *Disciseda bovista*, *Endoptychum arizonicum* y *Montagnea arenaria* (Guzmán y Herrera, 1969; Esqueda *et al.*, 1996 y 2000). Contrariamente, en las zonas templadas es frecuente observar *Astraeus hygrometricus*. En un muestreo realizado en la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar, estacionalmente durante un año en cuatro tipos de vegetación, se determinaron 27 taxones de hongos gasteroides (Esqueda *et al.*, 2006). De éstos, *M. arenaria* y *P. pistillaris* obtuvieron el mayor número de recolecciones y mostraron la más amplia distribución en la reserva; especies pertenecientes a las familias Geastraceae y Lycoperdaceae tuvieron una distribución más restringida. El género con el mayor número de taxones fue *Tulostoma* con 12. *Geastrum berkeleyi*, *G. schmidelii* y *Tulostoma mohavei* fueron nuevos registros para México.

Geastrum es uno de los géneros mejor conocidos en la micobiota sonorensis. Derivado de un estudio en veinte localidades de tres regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad en Sonora: San Javier-Tepoca, Punta de Cirio y Sierra de Álamos, se determinaron 17 especies de *Geastrum*, siendo *G. pouzarii* y *G. pseudolimbatum* nuevos para la micobiota mexicana (Esqueda *et al.*, 2003). El mayor número de especímenes se recolectó en matorral espinoso y selva baja caducifolia. Aunque los gastrocarpos se observaron en las cuatro estaciones del año, fueron más comunes durante el verano y otoño. *G. floriforme* y *G. saccatum* se encontraron con mayor frecuencia. Sin embargo, la mayoría de las especies tiene un período de fructificación y un hábitat limitados como *G. fornicatum* y *G. xerophilum*, lo cual coincide con estudios realizados en el país (Pérez-Silva *et al.*, 1999).

Esqueda *et al.* (2000) estudiaron la composición de hongos gasteroides en un gradiente de vegetación en Sonora durante tres años, abarcando las cuatro estaciones del año, en siete tipos de vegetación. Se determinaron 405 recolecciones correspondientes a 77 especies, siendo los géneros mejor representados *Tulostoma* (16 spp.), *Geastrum* (13 spp.),

Lycoperdon (9 spp.) y *Disciseda* (7 spp.). La distribución de las especies de *Disciseda* y *Tulostoma* se observó principalmente en regiones áridas y semiáridas durante el verano en matorral espinoso, mientras que de *Lycoperdon* y *Scleroderma* se hizo en las regiones de bosques templados durante el verano.

En general, el mayor número de especies de hongos gasteroides se observó en verano y disminuyó progresivamente durante otoño, invierno y primavera (figura 1). Como resultado de la comparación entre localidades, los tipos de vegetación se dividieron en dos grandes grupos de acuerdo con su composición de hongos gasteroides: los de zonas áridas y semiáridas (matorral subinermes, matorral espinoso y selva baja caducifolia) y los de zonas templadas (bosque de encino-pino en suelos epitermales, bosque de encino, bosque de pino y bosque de encino-enebro-pino) (figura 2). Estos dos agrupamientos están relacionados entre sí con un bajo índice de similitud, lo que parece indicar la presencia de dos micobiotas particulares para cada uno de ellos. De las especies consideradas, 11.6% se en-

contró tanto en las regiones áridas y semiáridas como en las templadas: *Bovista acuminata*, *B. aestivalis*, *Calvatia bicolor*, *Cyathus stercoreus*, *Geastrum floriforme*, *G. saccatum*, *Lycoperdon pyriforme*, *Vascellum pratense* y *Tulostoma fimbriatum*. *G. saccatum* fue la más frecuentemente recolectada en ambas. En contraste, no se observó ninguna especie en común entre matorral subinermes y matorral espinoso comparados con bosque de encino-pino en suelos epitermales.

Asimismo, encontraron en los suelos de las localidades áridas un bajo porcentaje de saturación y contenido de materia orgánica, una textura gruesa y pedregosidad media, lo que provoca poca retención de humedad. El período de lluvias es limitado y las temperaturas extremas, condiciones de estrés que reducen la competencia entre especies y favorecen a las bien adaptadas a la aridez como *Montagnea arenaria*, *Podaxis pistillaris* y *Tulostoma* spp., caracterizadas por esporas de pared gruesa y pigmentada que las hacen resistentes a la desecación y al daño por rayos ultravioleta (Miller, 1995); asimis-

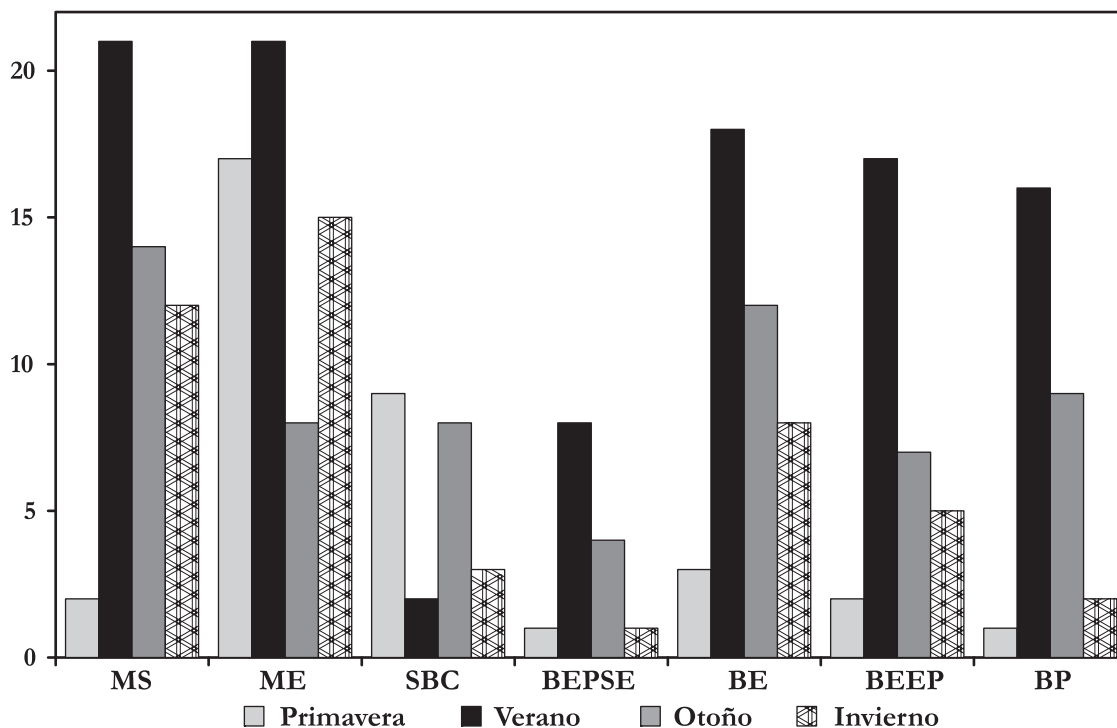


Figura 1. Variación en el número de especies de hongos gasteroides durante las estaciones del año a lo largo del gradiente de vegetación Hermosillo a Yécora, Sonora (MS = Matorral Subinermes; ME = Matorral Espinoso; SBC = Selva Baja Caducifolia; BEPSE = Bosque de Encino-Pino en Suelos Epitermales; BE = Bosque de Encino; BEEP = Bosque de Encino-Enebro-Pino; BP = Bosque de Pino). Fuente: Esqueda *et al.*, 2000.

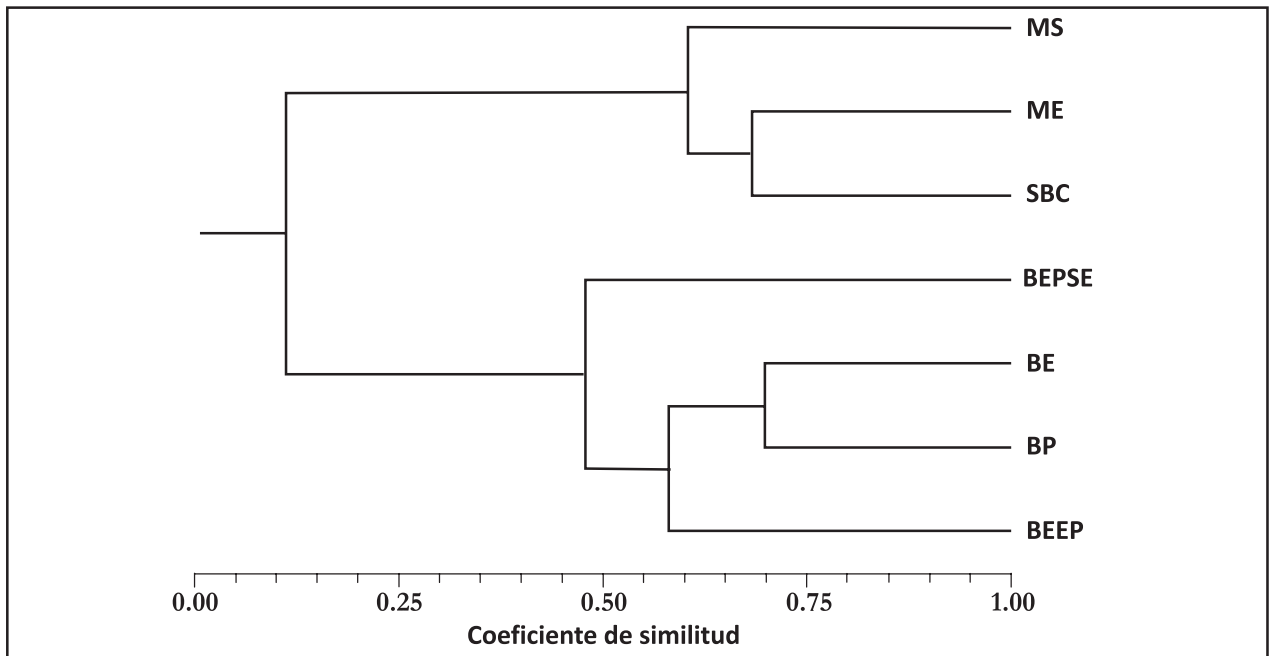


Figura 2. Dendrograma de similitud de los tipos de vegetación con base en la diversidad de hongos gasteroides presentes en el transecto de Hermosillo a Yécora (MS = Matorral Subinerme; ME = Matorral Espinoso; SBC = Selva Baja Caducifolia; BEPSE = Bosque de Encino-Pino en Suelos Epitermales; BE = Bosque de Encino; BEEP = Bosque de Encino-Enebro-Pino; BP = Bosque de Pino). Fuente: Esqueda *et al.*, 2000.

mo, sus esporas lisas facilitan su dispersión por el viento.

Contrariamente, en las regiones templadas se presentaron condiciones edáficas de menor estrés: alto porcentaje de saturación, textura delgada y buenos niveles de fertilidad, así como condiciones climáticas con períodos más amplios de precipitación y temperaturas más frescas, lo que favorece una mayor competencia entre especies, por lo que fructifican hongos menos tolerantes a amplios márgenes de temperatura y humedad como *Lycoperdon lividum* y *L. rimulatum*. Dentro de este grupo, las especies ampliamente distribuidas y frecuentemente recolectadas tienen esporas pequeñas, lisas o ligeramente ornamentadas, mientras que en los taxones con una distribución restringida, sus esporas son más grandes y fuertemente ornamentadas (Kreisel, 1991).

Esqueda *et al.* (2000) concluyeron que el tipo de vegetación y los factores físicos y químicos del suelo no son los factores determinantes de la composición de los hongos gasteroides, sino que se debe a una interacción de éstos y otros factores bióticos y abióticos, entre los que destacan las condiciones climáticas.

En total se ha registrado 121 especies de hongos gasteroides para Sonora y 146 para Arizona, Estados Unidos (Bates, 2006). De ellas, 64 taxones se han citado en ambos estados, principalmente de los géneros *Geastrum* (15 spp.), *Tulostoma* (12 spp.) y *Lycoperdon* (7 spp.). Si consideramos que se conocen alrededor de mil especies a escala mundial (Kirk *et al.*, 2001), 12.1% están registradas para Sonora. En el ámbito nacional, Guzmán (1998b) señala un aproximado de 180 taxones, lo cual representaría 67% de los gasteromicetos citados en la micobiota sonorense. Actualmente, gracias a los estudios de biología molecular, diversos géneros se han incluido en la familia Agaricaceae, *v.g.*, *Cyathus*, *Disciseda*, *Lycoperdon*, *Tulostoma*, entre otros.

Agaricales

El primer registro de un Agarical para Sonora correspondió a *Agaricus* sp., con base en colección depositada en el extranjero (Guzmán, 1972). Posteriormente, Pérez-Silva y Herrera (1991) citaron sin localidad precisa varias especies de *Amanita*, a saber: *Amanita ceciliae*, *A. cokeri*, *A. crocea*, *A. flavo-*

conia, *A. gemmata*, *A. rubescens* y *A. verna*. En un estudio realizado en la zona urbana de Hermosillo, Sonora, Esqueda *et al.* (1995b) registraron *Coprinopsis atramentaria*, *Coprinus ephemerus*, *C. lagopus*, *C. quadrifidus* y *C. silvaticus*, siendo todos nuevos para la micobiota de Sonora y *C. quadrifidus* primera cita para México. Con respecto a la familia Agaricaceae se encontraron dos especies cosmopolitas: *Chlorophyllum molybdites* y *Leucocoprinus birnbaumii*. En relación a Pluteaceae se registró por primera vez para México a *Pluteus petasatus*.

En la Reserva de la Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui, la cual representa el límite norte del bosque tropical en el continente americano, Esqueda *et al.* (1999) citaron *Rugosopora pseudorubiginosa*, género únicamente conocido en el centro de África, México y Colombia. En México se ha registrado de Chiapas, Veracruz (Guzmán *et al.*, 1989) y Jalisco (Bautista y Aguirre, 2004). Asimismo, encontraron taxones fímícolas: *Coprinus micaceus* y *Panaeolus firmicola*; especies comestibles y cultivadas: *Pleurotus djamor* y *Volvariella bombycina*. También se observaron taxones característicos de selva baja caducifolia: *Hohenbuehelia petalodes*, *Lepiota azurea*, *Marasmius epiphyllus* y *M. haematocephalus*. La distribución de *Chlorophyllum molybdites* fue amplia en la reserva.

Pérez-Silva *et al.* (2006) determinaron 114 especies, registrando por primera vez para la micobiota sonorensis 104 especies de Agaricales y ampliando el conocimiento sobre la distribución de diez taxones. Éstos provenían de bosque de encino (46), bosque de pino-encino (54), bosque de encino-pino (10), bosque de encino-enebro-pino (4), matorral espinoso (4), matorral mediano subinermes (2), matorral subinermes (9), mezquital (3) y selva baja caducifolia (16). Dentro de Pleurotaceae se encontraron en el bosque de encino-pino a *Pleurotus dryinus* y *P. ostreatus*, mientras que en bosque tropical a *P. ostreatoroseus*. Estas especies lignícolas, comestibles y cultivadas se han registrado con frecuencia para México. Con respecto a Hygrophoraceae e Hygrophoropsidaceae se observaron a *Hygrophorus russula* e *Hygrophoropsis aurantiaca*, res-

pectivamente, en bosque de pino-encino, los cuales presentan una distribución amplia en México.

En Marasmiaceae se identificaron especies comestibles como *Armillaria borealis*, que es parásita de plantas superiores como *Quercus* spp. Las especies determinadas de *Marasmius* fueron *M. ferrugineus* y *M. quercophilus*, que tienen importancia ecológica, ya que reciclan la materia orgánica y, aunque algunas son comestibles y fructifican abundantemente después de las lluvias, no tienen valor culinario debido a su tamaño pequeño. Dentro de los hongos tóxicos se encontró a *Omphalotus olearius* con crecimiento muy abundante dentro y fuera de la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. En general, las especies determinadas en esta familia se conocen bien en la micobiota de México. Por otro lado, la mayoría de las especies estudiadas de Tricholomataceae provienen de bosque de pino-encino y las de Hydnangiaceae de bosque de encino, encontrándose comestibles, micorrízicas y parásitas; corresponden a taxones frecuentemente citados para México.

En Pluteaceae, *Amanita* fue el género mejor representado con 22 especies, algunas de las cuales pueden ocasionar diversos tipos de micetismo como el faloidiano, que es el más peligroso, derivado del consumo de *A. bisporigera*, *A. verna* y *A. virosa* (Pérez-Silva y Herrera, 1991). *Amanita muscaria* ocasiona micetismo muscarínico, mientras que *A. pantherina*, micetismo panterínico (Pérez-Silva *et al.*, 2008). Numerosos taxones son bien conocidos en la micobiota de México: *Amanita ceciliae*, *A. fulva*, *A. gemmata* y *A. rubescens*, entre otras. Algunas ocasionan micetismo gastrointestinal. Contrariamente, *A. daucipes* se registró por segunda vez para México; sólo se conocía del Estado de México (Pérez-Silva *et al.*, 2001b). Dentro de *Pluteus* (familia Pluteaceae) determinaron a *P. cervinus*, con una distribución amplia en México, y *P. romellii*, citada únicamente de Michoacán (Rodríguez *et al.*, 2004). Asimismo, los registros de las especies encontradas de *Volvariella* son escasos, destacando *V. volvacea* por ser comestible y cultivada de la Reserva de la Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui.

En Agaricaceae se observaron tanto especies comestibles (*Agaricus arvensis* y *A. solidipes*) como tóxicas que pueden ocasionar micetismo gastrointestinal: *Chlorophyllum molybdites* y *Agaricus xanthodermus*. En Coprinaceae se amplía el conocimiento sobre la distribución de *Coprinopsis atramentaria* y *Coprinus silvaticus* en Sonora, previamente registradas para la zona urbana de Hermosillo (Esqueda *et al.*, 1995b); el primero ocasiona micetismo coprinico (Pérez-Silva *et al.*, 2008). Dentro de esta familia destaca *Coprinus comatus*, por ser comestible y cultivado. Con respecto a Strophariaceae, se encontraron varios taxones fímicos y tóxicos, comúnmente observados en diversas partes del país: *Psilocybe coprophila* y *P. cubensis*.

Algunas especies de Boletaceae y Suillaceae consideradas en este estudio son comestibles y micorrízicas: *Boletellus ananas*, *Boletus edulis*, *B. frostii*, *Strobilomyces strobilaceus* y *Suillus granulatus*, fructifican principalmente en bosques de encino y pino-encino durante el verano, como se ha observado en diversas entidades de México. Cabe aclarar que este grupo de hongos es muy diverso en el estado y requiere de especial atención por parte de los taxónomos especialistas en Boletales. Dentro de Russulaceae, la mayoría de las especies determinadas son micorrízicas y provienen de bosque de pino-encino: *Lactarius chrysorrheus*, *L. indigo*, *L. volemus*, *Russula foetens* y *R. nigricans*. Entre los hongos con valor culinario destaca *L. indigo*, que es un hongo muy abundante en la mayoría de los estados con bosques de encino, pino-encino y mesófilo de montaña. Varias especies de *Russula* y *Lactarius* pueden ocasionar micetismo gastrointestinal (Pérez-Silva, 2004).

El conocimiento actual sobre la diversidad de Agaricales presentes en Sonora está circunscrito a 139 especies, incluyendo algunas de los órdenes Boletales (11) y Polyporales (6). Si consideramos que para el mundo se han descrito seis mil taxones, el porcentaje que representa es aún bajo (2.31%). En el ámbito nacional se han registrado hasta la fecha aproximadamente mil seiscientos especies, incluyendo los Boletales y los hongos agaricoides pertenecientes al orden Polyporales, lo que equivaldría

a 26.7% de las especies a escala mundial. Por lo tanto, en el ámbito nacional, Sonora cuenta con 8.7% del conocimiento de este grupo en México. En Arizona, Estados Unidos, se han registrado 360 especies de hongos agaricoides (Bates, 2006) y 71 de ellos también en Sonora. El conocimiento sobre los órdenes Boletales y Russulales es contrastante en ambas entidades, 42 y 63 taxones en Arizona vs. 11 y 12 especies en Sonora, respectivamente. Contrariamente, en el género *Amanita* se han citado 23 y 22 especies en Arizona y Sonora, respectivamente, compartiendo 12 taxones, más de cincuenta por ciento.

Hongos afileforoides

Donk (1964) señala que el Orden Aphyllophorales Rea incluye un grupo artificial de hongos Hymenomycetes con holobasidios y caracteres opuestos al Orden Agaricales, los cuales forman fructificaciones diferentes. Además, presentan basidiomas generalmente de consistencia correosa a leñosa, ocasionalmente carnosa o subcarnosa; himenóforo liso, verrugoso, dentado, irpiciforme, venoso, poroide y, ocasionalmente, laberintiforme o laminar; en este último caso la consistencia nunca es carnosa.

Inicialmente, Guzmán (1972) registró diez especies para la región al estudiar especímenes depositados en el herbario BPI de Beltsville, Estados Unidos. Posteriormente, Valenzuela *et al.* (1981) citaron a *Lentinus tigrinus* y Pérez-Silva *et al.* (1988) a *Pycnoporus sanguineus*. Pérez-Silva *et al.* (1993) determinaron 28 especies, de las cuales 24 fueron nuevos registros para la micobiota de Sonora y *Gloeophyllum odoratum* primera cita para México. En la zona urbana de Hermosillo, Esqueda *et al.* (1995b) publicaron las primeras recolecciones de *Phanerochaete sordida*, *Schizopora paradoxa*, *Ganoderma applanatum* y *Amylosporus campbellii* en el estado de Sonora.

Como parte de la diversidad de hongos en la Reserva de la Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui, Esqueda *et al.* (1999) encontraron doce taxones nuevos para Sonora, incluidos *Diacanthodes novoguineensis* y *Humphreya coffeata*, ambos con una

distribución tropical. Aunque el primero cuenta con pocos registros en Estados Unidos, Brasil y México, este último en la Reserva de la Biosfera El Cielo en Tamaulipas (Valenzuela y Chacón-Jiménez, 1991), mientras que en el segundo su distribución es más amplia en el continente americano y en México su límite norte hasta ahora conocido corresponde a la Sierra de Álamos donde fructifica en verano sobre restos de raíces y troncos enterrados.

Montaño *et al.* (2006) estudiaron 57 especies de Aphyllophorales de la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. De éstas, 37 fueron nuevos registros para la micobiota sonorensis y cinco se mencionaron por primera vez para México: *Inonotus texanus*, *Phellinus arctostaphyli*, *Meruliopsis ambigua*, *Perenniporia fraxinophila* e *Hyphodontia apacheriensis*. El mayor número de especies se presentó en bosque de pino-encino (32), seguido por bosque de pino-encino asociado con bosque de galería (25) y mezquital (14). Las familias mejor representadas fueron Hymenochaetales (20) y Coriolales (16). *Polyporus arcularius* y *Schizophyllum commune* tuvieron la distribución más amplia.

Por otro lado, en el mismo estudio algunas especies se recolectaron en hospederos específicos como *Bjerkandera adusta*, *Merulius tremulosus*, *Hericium erinaceus*, *Inonotus dryophilus*, *Laetiporus sulphureus*, *Phellinus everhartii*, *P. robustus*, *Polyporus alveolaris*, *Trametes hirsuta* y *Trichaptum biforme*, que se encontraron creciendo sólo sobre *Quercus* spp.; *Gloeophyllum mexicanum* sobre *Pinus* sp.; *Inonotus texanus* sobre *Prosopis* sp.; *Phellinus tremulae* sobre *Populus tremuloides* y *Phellinus arctostaphyli* sobre *Arctostaphylos pungens*. Asimismo, *Schizophyllum commune*, *Hymenochaete escobarii*, *Phellinus badius*, *P. gilvus*, *P. linteus*, *Fomitopsis feei*, *Humphreya coffeatum*, *Gloeophyllum striatum*, *Trametes villosa* y *Trichaptum byssogenum* se observaron sobre diversas leguminosas. Otras especies se recolectaron en dos o más hospederos como *Perenniporia fraxinophila* sobre *Fraxinus* sp. y *Quercus* sp.; *Trametes versicolor* sobre *Quercus* sp. y *Acer* sp.; *Meruliposis corium* sobre *Quercus* sp. y *Prosopis* sp.

Con la inclusión de los especímenes de Aphyllophorales depositados en el Herbario de la Universidad de Arizona, recolectados por los doctores R.L. Gilbertson y T. Van-Devender en la Reserva de la Biosfera Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui, el número de especies de este grupo de hongos se incrementó a 171, incluidos en 81 géneros, 29 familias y ocho órdenes dentro de la Clase Hymenozygomycetes. Con base en esta cifra, los hongos afiloforoides son el grupo morfológico con mayor número de especies en Sonora, aunque no el mejor representado, ya que a escala mundial se han descrito 3 253 taxones en este grupo de hongos (Mueller y Schmit, 2007), por lo que podemos señalar que 5.2% de las especies está representado en dicho estado.

Por otro lado, ha sido difícil contabilizar el número de especies de Aphyllophorales para México, toda vez que los datos están muy dispersos. Sin embargo, si consideramos que se han citado alrededor de 565 especies de hongos afiloforoides, a saber: poliporoides (350), teleforoides y corticioides (100), hidnoides (60), clavarioides (40) y cantarelloides (15), la suma de estas estimaciones equivaldría a 17.4% de especies a escala mundial y Sonora estaría representado con 30.3% de las especies de México. Al comparar Arizona, Estados Unidos (Bates, 2006), y Sonora, se observa una gran diferencia en el número de especies de hongos afiloforoides, 622 vs. 171, con 93 taxones en común. El orden Polyporales es el más representativo en ambas entidades, con 375 y 71 especies, respectivamente.

CONCLUSIÓN

El listado actual de 658 especies incluye hongos comestibles, tóxicos, micorrízicos, parásitos, fitopatógenos, entre otros. Este conocimiento básico abarca organismos con potencial biotecnológico y, con ello, existen bases para un crecimiento en el campo de la micología aplicada en Sonora. Sin embargo, este conocimiento es todavía incipiente, prueba de ello son los resultados de exploraciones recientes en áreas naturales protegidas en el estado,

donde la diversidad fúngica ha sido elevada y se han encontrado numerosos registros nuevos para la micobiota de México y, más aún, poco conocidos en el ámbito mundial.

Aunque alrededor de cincuenta por ciento de los municipios de Sonora cuentan al menos con un registro fúngico, en la mayor parte del territorio sonorense no se han realizado muestreos sistemáticos. Sonora es el segundo estado con más extensión territorial en el país, con una gran diversidad de tipos de vegetación y microhábitats, por lo cual el potencial para incrementar la lista de hongos es significativamente alto.

Para la toma correcta de decisiones en el manejo de los recursos naturales y su desarrollo sostenible es de vital importancia el conocimiento de la biodiversidad fúngica, ya que descomponen la materia orgánica y promueven el crecimiento vegetal, además de que provocan numerosas enfermedades; asimismo, tienen una importancia económica elevada como comestibles, biofertilizantes, medicamentos, nutracéuticos y por su aplicación en el control biológico y la biorremediación, entre otros, todo lo cual define el beneficio potencial de las investigaciones micológicas.

AGRADECIMIENTOS

A Conacyt, Conabio, Cesues, UNAM y CIAD por el financiamiento a nuestras investigaciones sobre la diversidad de hongos en Sonora. A Ricardo Valenzuela, Gabriel Moreno, Fátima Méndez, Leonardo Verdugo, Martha Coronado y Martín Esqueda por las fotografías de las láminas 5 y 6 de la galería del presente libro. A los estudiantes de la Licenciatura en Ecología del Cesues, quienes fueron la fortaleza, a través de su entusiasmo e interés por la micología, para iniciar el proyecto sobre la micobiota sonorense.

LITERATURA CITADA

- APARICIO-NAVARRO, A., A. QUIJADA-MASCAREÑA, T. QUINTERO-RUIZ y A. BÚRQUEZ. 1994. Nuevos gasteromicetos para la micobiota de Sonora. México. *Ecología* 3: 11-14.
- BATES, S.T. 2006. A Preliminary Checklist of Arizona Macrofungi. *Canotia* 2: 47-78.
- BATES, S.T. y A. BARBER. 2008. A Preliminary Checklist of Arizona Slime Molds. *Canotia* 4: 8-19.
- BAUTISTA, S., y C.E. AGUIRRE. 2004. Algunas especies de Lepiotáceos de la estación de biología Chamela, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Micología* 18: 39-45.
- BLACKWELL, M. y R.L. GILBERTSON. 1980a. Sonoran Desert Myxomycetes. *Mycotaxon* 11: 139-149.
- BLACKWELL, M. y R.L. GILBERTSON. 1980b. *Didymium eremophilum*: A New Myxomycete from the Sonoran Desert. *Mycologia* 72: 791-797.
- BLACKWELL, M. y R.L. GILBERTSON. 1984. Distribution and Sporulation Phenology of Myxomycetes in the Sonoran Desert of Arizona. *Microbial Ecology* 10: 369-377.
- BRAUN, K.L. y H.W. KELLER. 1976. Myxomycetes of Mexico I. *Mycotaxon* 3: 297-317.
- BRUNDRETT, M. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. *Advances in Ecological Research*. 21: 171-313.
- CHACÓN, S., y G. GUZMÁN. 1983. Especies de macromicetos citados de México, V. Ascomycetes, parte II. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 18: 103-114.
- CORTEZ-ROCHA, M.O., W.R. RAMÍREZ-ASTUDILLO, R.I. SÁNCHEZ-MARÍNEZ, E.C. ROSAS-BURGOS, F.J. WONG-CORRAL, J. BORBOA-FLORES, L.G. CASTILLÓN-CAMPAÑA y M. TEQUIDA-MENESES. 2003. Fumonisin and Fungal Species in Corn from Sonora, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 70: 668-673.
- DONK, M.A. 1964. A Conspectus of the Families of Aphyllophorales. *Persoonia* 3: 199-324.
- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA, T. HERRERA, A. ALTÉS y G. MORENO. 1998a. *Tulostoma portoricense* (Tulostomatales, Gasteromycetes) from Mexico. *Mycotaxon* 68: 499-503.
- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA, T. HERRERA y G. MORENO. 1998b. Adiciones al conocimiento de los gasteromicetos de Sonora, México. *Revista Mexicana de Micología* 14: 41-52.
- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA, T. HERRERA, F. SAN MARTÍN y R. SANTOS-GUZMÁN. 1999. Macromicetos de selva baja caducifolia I: Álamos, Sonora, México. *Revista Mexicana de Micología* 15: 73-78.

- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA, T. HERRERA, M. CORONADO y A. ESTRADA-TORRES. 2000. Composición de gasteromicetos en un gradiente de vegetación de Sonora, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 71: 39-62.
- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA y T. HERRERA. 1995a. New Records of Gasteromycetes for Mexico. *Documents Mycologiques* 98-100: 151-160.
- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA, T. HERRERA, R.E. VILLEGAS y V. ARAUJO. 1995b. Macromicetos de zonas urbanas II: Hermosillo, Sonora, México. *Revista Mexicana de Micología* 11: 123-132.
- ESQUEDA, M., I. HIGUERA-CIAPARA y J. NIEBLAS. 1995c. Aflatoxina M₁ en leche comercializada en Hermosillo, Sonora, México. *Revista Mexicana de Micología* 11: 179-183.
- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA, T. HERRERA y R.E. VILLEGAS. 1996. Los Gasteromycetes citados de Sonora. *Vinculación* 1: 3-16.
- ESQUEDA, M., E. PÉREZ-SILVA y M. CORONADO. 1992. Nuevos registros de Pezizales para Sonora. *Revista Mexicana de Micología* 8: 43-54.
- ESQUEDA, M., G. MORENO, E. PÉREZ-SILVA, A. SÁNCHEZ y A. ALTÉS. 2004. The Genus *Tulostoma* in Sonora, Mexico. *Mycotaxon* 90: 409-422.
- ESQUEDA, M., M. CORONADO, A. SÁNCHEZ, E. PÉREZ-SILVA y T. HERRERA. 2006. Macromycetes of Pinacate and Great Altar Desert biosphere reserve, Sonora, Mexico. *Mycotaxon* 95: 81-90.
- ESQUEDA, M., T. HERRERA, E. PÉREZ-SILVA, A. APARICIO y G. MORENO. 2002. Distribution of *Battarrea phalloides* in Mexico. *Mycotaxon* 82: 207-214.
- ESQUEDA, M., T. HERRERA, E. PÉREZ-SILVA y A. SÁNCHEZ. 2003. Distribution of *Geastrum* Species from Some Priority Regions for Conservation of Biodiversity of Sonora, Mexico. *Mycotaxon* 87: 445-456.
- ESQUEDA, M. y M. CORONADO-ANDRADE. 1991. Micobiota de Sonora. Pezizales y Xylariales. *Memorias del IV Congreso Nacional de Micología*. Universidad Autónoma de Tlaxcala, México, octubre 14-18, p. 23.
- EVENSON, A. 1961. A Preliminary Report of the Myxomycetes of Southern Arizona. *Mycologia* 53: 137-144.
- FELGER, R., y M. MOSER. 1991. *People of the Desert and Sea. Ethnobotany of the Seri Indians*. 2a. ed., University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- GARCÍA-ROMERO, L., G. GUZMÁN y T. HERRERA. 1970. Especies de macromicetos citados de México I. Ascomicetes, Tremellales y Aphyllophorales. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 4: 54-76.
- GUZMÁN, G. 1972. Macromicetos mexicanos en el herbario The National Fungus Collections de EUA. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 32: 31-55.
- GUZMÁN, G. 1975. Hongos mexicanos (macromicetos) en los herbarios del extranjero III. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 9: 85-102.
- GUZMÁN, G. 1998a. Inventorying the Fungi of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 7: 369-384.
- GUZMÁN, G. 1998b. Análisis cualitativo y cuantitativo de la diversidad de los hongos en México. Ensayo sobre el inventario fúngico del país. En: G. Halffter (comp.) *La diversidad biológica de Iberoamérica II* (volumen especial) Acta Zoológica Mexicana, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México, pp. 111-175.
- GUZMÁN, G., V. BANDALA, L. MONTOYA e Y. SALDARRIAGA. 1989. Nuevas evidencias sobre las relaciones micoflorísticas entre África y el neotrópico. El género *Rugospora* Heinem (Fungi, Agaricales) *Brenesia* 32: 107-112.
- GUZMÁN, G. y T. HERRERA. 1969. Macromicetos de las zonas áridas de México II. Gasteromicetos. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Botánica* 40: 1-92.
- HAWKSWORTH, D.L. 1991. The Fungal Dimension of Biodiversity: Magnitude, Significance, and Conservation. *Mycological Research* 95: 641-655.
- JACOBSON, K.M., P.J. JACOBSON y O.K. MILLER JR. 1999. The Autoecology of *Battarrea stevenii* in Ephemeral Rivers of Southwestern Africa. *Mycological Research* 103: 9-17.
- ILLANA, C., G. MORENO y M. LIZÁRRAGA. 2000. Catálogo de Myxomycetes de México. *Stappia* 73: 167-186.
- KIRK, P.M., P.F. CANNON, J.C. DAVID y J.A. STALPERS. 2001. *Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi*. 9a ed. CAB International, Cambridge, Inglaterra.
- KLICH, M.A. 2002. Biogeography of *Aspergillus* Species in Soil and Litter. *Mycologia* 94: 21-27.
- KREISEL, H. 1991. Neoteny in the Phylogeny of Eumycota. En: D.L. Hawksworth ed. *Frontiers in mycology*. CAB International, Wallingford, Inglaterra, pp. 69-83.
- LIZÁRRAGA, M., G. MORENO, M. ESQUEDA, A. SÁNCHEZ y M. CORONADO. 2007. Myxomycetes from Sonora, Mexico 3: National Forest Reserve and Wildlife Refuge, Ajos-Bavispe. *Mycotaxon* 99: 291-301.
- LIZÁRRAGA, M., G. MORENO, M. ESQUEDA y M.L. CO-

- RONADO. 2008. Myxomycetes of Sonora, Mexico 4: Sierra de Alamos-Río Cuchujaqui Biosphere Reserve. *Mycotaxon* 103: 153-170.
- LOWY, B. 1971. Tremellales. Hafner Publishing, Nueva York. *Flora Neotropica* 6:1-153.
- MACBRIDE, H.T. y C.L. SMITH. 1896. The Nicaraguan Myxomycetes. With Notes on Certain Mexican Species. *Bulletin from the Laboratories of Natural History of the State University of Iowa* 4: 73-75.
- MEDEL, R. 2002. Nuevos registros de Pyrenomycetes (Ascomycotina) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 70: 79-85.
- MEDEL, R. 2007. Especies de Ascomycetes citados de México IV: 1996-2006. *Revista Mexicana de Micología* 25: 69-76.
- MEDEL, R., G. GUZMÁN y S. CHACÓN. 1999. Especies de macromicetos citadas de México IX. Ascomycetes, parte III: 1983-1996. *Acta Botánica Mexicana* 46: 57-72.
- MÉNDEZ-MAYBOCA, F.R., S. CHACÓN, M. ESQUEDA y M.L. CORONADO. 2008. Ascomycetes of Sonora, Mexico I: The Ajos-Bavispe National Forest Reserve and Wildlife Refuge. *Mycotaxon* 103: 87-95.
- MÉNDEZ-MAYBOCA, F.R., S. CHACÓN, M.L. CORONADO y M. ESQUEDA. 2007. Ascomycetes de Sonora, México II: Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. *Revista Mexicana de Micología* 25: 33-40.
- MEZA-MOLLER, A., M. ESQUEDA, A. GARDEA, M. TIZNADO y G. VIRGEN-CALLEROS. 2007. Variabilidad morfológica, patogénica y susceptibilidad a fungicidas de *Rhizoctonia solani* aislado de rizósfera de *Vitis vinifera* var. *perlette seedless*. *Revista Mexicana de Micología* 24: 1-7.
- MILLER, S.L. 1995. Functional Diversity in Fungi. *Canadian Journal of Botany* 73 (suplemento 1) 50-57.
- MONTAÑO, A., R. VALENZUELA, A. SÁNCHEZ, M. CORONADO y M. ESQUEDA. 2006. Aphyllophorales de Sonora, México I. Algunas especies de la Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. *Revista Mexicana de Micología* 23: 17-26.
- MORENO, G., A. ALTÉS, C. OCHOA y J.E. WRIGHT. 1995. Contribution to the Study of the Tulostomataceae in Baja California, Mexico. *Mycologia* 87: 96-120.
- MORENO, G., C. ILLANA, M. ESQUEDA, A. CASTILLO y E. PÉREZ-SILVA. 2004. Notes on Myxomycetes from Mexico II. *Boletín Sociedad Micológica de Madrid* 28: 55-63.
- MORENO, G., M. ESQUEDA, E. PÉREZ-SILVA, T. HERRERA y A. ALTÉS. 2007a. Some Interesting Gasteroid and Secotiid Fungi from Sonora, Mexico. *Persoonia* 19: 265-280.
- MORENO, G., M. LIZÁRRAGA, M. ESQUEDA, E. PÉREZ-SILVA y T. HERRERA. 2006. Myxomycetes de Sonora, México II: Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe. *Revista Mexicana de Micología* 22: 13-23.
- MORENO, G., M. LIZÁRRAGA y C. ILLANA. 2007b. Catálogo de los Myxomycetes de México. *Boletín Sociedad Micológica de Madrid* 31: 187-229.
- MUELLER, G.M. y J.P. SCHMIT. 2007. Fungal Biodiversity: What do we Know? What can we Predict? *Biodiversity and Conservation* 16: 1-5.
- OGATA, N., D. NESTEL, V. RICO-GRAY y G. GUZMÁN. 1994. Los Myxomycetes citados de México. *Acta Botánica Mexicana* 27: 39-51.
- PADILLA, E., M. ESQUEDA, A. SÁNCHEZ, R. TRONCOSO-ROJAS y A. SÁNCHEZ. 2006. Efecto de biofertilizantes en cultivo de melón con acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 321-329.
- PÉREZ-SILVA, E. 1973. El género *Daldinia* (Pyrenomycetes) en México. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 7: 51-58.
- PÉREZ-SILVA, E. 2004. Intoxicación por hongos. En: O.B. Martínez ed. *Intoxicaciones*. McGraw-Hill-Interamericana, México, pp. 305-329.
- PÉREZ-SILVA, E., E. AGUIRRE-ACOSTA y C. PÉREZ-AMADOR. 1988. Aspectos sobre el uso y la distribución de *Pycnoporus sanguineus* (Polyporaceae) en México. *Revista Mexicana de Micología* 4: 137-144.
- PÉREZ-SILVA, E., E. BÁRCENAS y C. AGUILAR. 2001b. *Guía micológica del género Amanita del Parque Estatal Sierra de Nanchititla*. Cuadernos de Investigación. Cuarta época/18. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
- PÉREZ-SILVA, E., M. ESQUEDA, T. HERRERA, G. MORENO y A. ALTÉS. 2000. *Disciseda verrucosa* (Gasteromycetes) in Mexico. *Mycotaxon* 76: 337-341.
- PÉREZ-SILVA, E., M. ESQUEDA, T. HERRERA y M. CORONADO. 2006. Nuevos registros de Agaricales en Sonora, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 23-33.
- PÉREZ-SILVA, E., M. ESQUEDA y A. ARMENTA-CALDERÓN. 1996. Ascomycetes de Sonora I: Dyscomycetes y Pyrenomycetes. *Revista Mexicana de Micología* 12: 97-106.
- PÉREZ-SILVA, E., M. ESQUEDA y M. AMAYA-LÓPEZ. 1993. Nuevos registros de Aphyllophorales de Sonora, México. *Ecológica* 3: 23-28.

- PÉREZ-SILVA, E., M. ESQUEDA y T. HERRERA. 1994. Contribución al conocimiento de los gasteromicetos de Sonora, México. *Revista Mexicana de Micología* 10: 77-101.
- PÉREZ-SILVA, E., M. ESQUEDA y T. HERRERA. 2008. Macromicetos tóxicos de Sonora, México. *Revista Mexicana de Micología* 28: 81-88.
- PÉREZ-SILVA, E., T. HERRERA, M. ESQUEDA, C. ILLANA y G. MORENO. 2001a. Myxomycetes of Sonora, Mexico I. *Mycotaxon* 77: 181-192.
- PÉREZ-SILVA, E., T. HERRERA y M. ESQUEDA. 1999. Species of *Geastrum* (Basidiomycotina: Geastraceae) from Mexico. *Revista Mexicana de Micología* 15: 89-104.
- PÉREZ-SILVA, E. y M. ESQUEDA. 1992. First Records of Jelly Fungi (Dacrymycetaceae, Auriculariaceae, Tremellaceae) from Sonora, Mexico. *Mycotaxon* 44: 475-483.
- PÉREZ-SILVA, E. y T. HERRERA. 1991. *Iconografía de macromicetos de México I. Amanita*. Instituto de Biología. Publicaciones Especiales 6. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- PIVONIA, S., R. COHEN, J. KIGEL y J. KATAN. 2002. Effect of Soil Temperature on Disease Development in Melon Plants Infected by *Monosporascus cannonballus*. *Plant Pathol* 51: 472-479.
- RANZONI, F.V. 1968. Fungi Isolated in Culture from Soils of the Sonoran Desert. *Mycologia* 60: 356-371.
- RODRÍGUEZ, O., G. MORENO y M. HEYKOOP. 2004. El género *Pluteus* en México. Diagnósis latinas y comentarios taxonómicos, corológicos y ecológicos. *Boletín Sociedad Micológica de Madrid* 28: 291-314.
- SAN MARTÍN, F., J.D. ROGERS, P. LAVIN, E. PÉREZ-SILVA y M. ESQUEDA. 1999c. New Records of Xylariaceae of Sonora, Mexico. *Mycotaxon* 71: 129-134.
- SAN MARTÍN, F., P. LAVIN, M. ESQUEDA y E. PÉREZ-SILVA. 1999b. Additions to the Known Xylariaceae (Hymenoascomycetes, Xylariales) of Sonora, Mexico. *Mycotaxon* 70: 77-82.
- SAN MARTÍN, F., P. LAVÍN y M. ESQUEDA. 1999a. *Distorimula* a New Ascomycete Genus from Sonora, Mexico. *Mycotaxon* 73: 263-265.
- SCHMIT, J.P. y G.M. MUELLER. 2007. An Estimate of the Lower Limit of Global Fungal Diversity. *Biodiversity and Conservation* 16: 99-111.
- SMITH, S.E. y D.J. READ. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2a ed., Academic Press, Londres.
- STUTZ, J.C., R. COPEMAN, C.A. MARTIN y J.B. MORTON. 2000. Patterns of Species Composition and Distribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Arid Regions of Southwestern North America and Namibia, Africa. *Canadian Journal of Botany* 78: 237-245.
- VALENZUELA, R., G. GUZMÁN y J. CASTILLO. 1981. Descripción de especies de macromicetos poco conocidos en México, con discusiones sobre su ecología y distribución. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Micología* 15: 67-120.
- VALENZUELA, R. y S. CHACÓN-JIMÉNEZ. 1991. Los poliporáceos de México III. Algunas especies de la Reserva de la Biósfera El Cielo, Tamaulipas. *Revista Mexicana de Micología* 7: 39-70.
- WRIGHT, J.E. 1987. *The Genus Tulostoma (Gasteromycetes) A World Monograph*. Cramer, Berlín, Stuttgart.
- WRIGHT, J.E., T. HERRERA y G. GUZMÁN. 1972. Estudios sobre el género *Tulostoma* en México. *Ciencia* 7: 109-122.
- Zeller, S.M. 1948. Notes on Certain Gasteromycetes, Including Two New Orders. *Mycologia* 40: 639-668.

LÍQUENES: EL CORAZÓN DEL DESIERTO SONORENSE

THOMAS H. NASH III¹ Y MARÍA DE LOS ÁNGELES HERRERA-CAMPOS²

RESUMEN. El estado de Sonora se localiza en el corazón del Desierto Sonorense, definido por Shreve, e incluye una porción significativa de la Sierra Madre Occidental, la cual, en su mayor parte, es de origen volcánico. Se han realizado recolectas extensivas de líquenes en Sonora como parte del proyecto de la Flora Liqué-nica del Gran Desierto Sonorense y en su determinación han participado más de ochenta expertos de veinte países. Se incluye una lista florística, únicamente del estado, de aproximadamente 428 especies de líquenes y cinco especies de hongos liquenícolas, basada en los registros del Herbario de Líquenes de la Universidad Estatal de Arizona (ASU), mismos que han sido compilados en una flora de tres volúmenes. Los líquenes propios de los desiertos continentales son dominantes a elevaciones menores a los 1 000 m; sin embargo, a lo largo de la costa sur, donde la niebla es frecuente, aparecen especies adicionales. Aunque la niebla y el rocío no son tan frecuentes como en la costa occidental de Baja California, se han recolectado más de 25 especies de líquenes típicas de zonas de niebla en el sur de Sonora. En la parte oriental del estado, donde la altitud supera los 2 000 m, se observa una marcada abundancia de macrolíquenes en los bosques de pino-encino de manera similar a lo que ocurre en el sureste de Arizona y el resto de la Sierra Madre Occidental. En el extremo sur de Sonora se localizan elementos subtropicales. Si se sumaran las especies de líquenes conocidas de áreas adyacentes a Sonora (el oeste de Chihuahua, el norte de Sinaloa y el sur de Arizona), estimamos que el número total de especies del estado podría incrementarse en 10%. Los hongos liquenícolas requieren aún de mucha más atención.

ABSTRACT. The state of Sonora lies in the heart of the Sonoran Desert, as defined by Shreve and also includ-

¹ Arizona State University.

² Universidad Nacional Autónoma de México.

es a significant portion of the Sierra Madre Occidental, which is largely volcanic in origin. As part of the greater Sonoran Desert Lichen Flora project, we have collected extensively in Sonora, and the collections have been determined by over eighty experts from twenty countries. Herein we have compiled a checklist of nearly 428 lichen species and five lichenicolous fungal species for the state, based on records held at ASU and also compiled in the three volume flora. Below 1 000 m, interior desert lichens dominate the flora, but along the southern coast additional lichens are found in a region where fog often occurs. Fog and dew fall is not as frequent as occurs along the west coast of Baja California, but nevertheless over 25 of the typical fog zone lichens found in Baja California also occur in southern Sonora. In the eastern part of the state elevations rise to over 2 000 m, and in this region macrolichens occur abundantly in the oak and pine forests, as also occurs in southeastern Arizona and elsewhere in the Sierra Madre. In the very southern part of the state subtropical elements can be found. If one considers other lichens known from areas adjacent to Sonora (western Chihuahua, northern Sinaloa, and southern Arizona), then we estimate that additional lichen species could readily be found in Sonora, perhaps increasing the total species count by 10%. Lichenicolous fungi certainly deserve much more attention.

LÍQUENES DE SONORA: EL CORAZÓN DEL DESIERTO SONORENSE

En el contexto de las investigaciones sobre líquenes de la región ampliada del Desierto Sonorense (Nash *et al.*, 2002, 2004 y 2007) hemos realizado recolectas extensivas a lo largo del estado de Sonora, una región hasta ahora pobremente recolectada. Además de cubrir el área del Desierto de Sono-

ra (particularmente la Planicie Sonorense, circunscrita por Forest Shreve, 1951), extendimos nuestra investigación para incluir las áreas montañosas adyacentes, tales como la cima de la Sierra Madre Occidental (regiones oeste de Chihuahua y este de Sonora) y las áreas subtropicales del sur del estado. La información de las recolecciones en las que se basa esta contribución está disponible en <http://seinet.asu.edu/seinet/collections/selection.jsp>, en la base de datos de la ASU, la cual está ligada a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).

En total reportamos 428 especies de líquenes y cinco de hongos liquenícolas (véase apéndice en disco compacto). Aunque esta lista es considerable, estimamos que puede incrementarse al menos en diez por ciento si se amplía el esfuerzo de recolecta a las montañas, ya que se conocen más especies procedentes de las áreas adyacentes del oeste de Chihuahua y del sur de Arizona. A diferencia de Sonora, Arizona, que presenta elevaciones mayores a 3 600 m, con consecuentes comunidades de coníferas y pequeñas áreas alpinas ausentes en Sonora, reporta más de ochocientos especies de líquenes. Con base exclusivamente en las colecciones incluidas en la base de datos de la ASU (véase arriba), se conocen más de cuatrocientas cincuenta especies provenientes de Chihuahua, aproximadamente trescientas especies de la mitad del norte de Sinaloa y más de setecientas cincuenta de Baja California. Sinaloa presenta más especies de origen subtropical que Sonora y Baja California exhibe una flora marina mejor desarrollada. Adicionalmente, más de cien especies de hongos liquenícolas son conocidas para la región sonorense en sentido extenso (Nash *et al.*, 2004) y, consecuentemente, es muy probable que se encuentren muchas más, ya que el tratamiento de 2004 aún dista mucho de ser exhaustivo.

Ciertamente, la mitad occidental de Sonora está dominada por comunidades desérticas designadas por Brown *et al.* (2007) como las subdivisiones Valle del Bajo Río Colorado, Altiplano de Arizona y Planicie Sonorense. En gran parte de esta área la flora líquénica está dominada por especies caracterís-

ticas de los desiertos continentales, especialmente especies de los géneros *Acarospora*, *Caloplaca*, *Candelina*, *Endocarpon*, *Heppia*, *Peltula*, *Placidium*, *Psora* y *Staurothele*, así como miembros de las Lichinaceae (*Digitothyrea*, *Gloeoheppia*, *Lichinella*, *Peccania*, *Psorotichia*, *Pyrenopsis*, *Synalissa* y *Thyrea*). La mayoría de estas especies habita en rocas o en suelos consolidados. En la región oeste la abundancia líquénica es menor a bajas elevaciones y generalmente aumenta con la altitud.

Al este de los desiertos y extendiéndose hacia el sur de Sonora encontramos matorral costero y matorral de piedemonte (Brown *et al.*, 2007; Martin *et al.*, 1998) que presentan una vegetación vascular más densa que los desiertos. Estos sitios incluyen algunas de las especies líquénicas más características de la región como *Caloplaca brouardii*, *C. sonorae*, *Collema texanum*, *Dermatocarpon americanum*, *Dirinaria* spp., *Hyperphyscia* spp., *Lecanora plumosa*, *L. pseudistera*, *L. sonorae*, *Physcia erumpens*, *P. neglecta*, *Pyxine pringlei* y *Xanthoparmelia ajoensis*. Típicamente, estas especies son abundantes en las rocas, aunque *Hyperphysciae* y algunas *Physciae* se encuentran frecuentemente en corteza.

Desde una perspectiva liquenológica, el contorno costero a lo largo del litoral de Sonora es un hábitat especialmente importante por la presencia de niebla. Los líquenes forman una parte importante del conjunto de organismos poiquilohídricos, cuyo contenido de agua varía pasivamente con el correspondiente al de su ambiente (Nash, 1996). En las zonas áridas, la niebla constituye la mayor fuente de agua para los líquenes y provoca un dramático desarrollo líquénico. Las siguientes son especies predominantemente restringidas a estas zonas de niebla: *Buellia oidalea*, *Caloplaca bolacina*, *Chrysothrix candelaris*, *Dendrographa leucophaea*, *Dirina paradoxa* ssp. *aproximata*, *Diploicia canescens*, *Haematomma persoonii*, *Heterodermia namaquana*, *Lecanographa lyncea*, *Lecanora pacifica*, *Lecanora perconfusa*, *Lecidella asema*, *Opegrapha pulvinata*, *Pertusaria flavicunda*, *Pertusaria xanthodes*, *Ramalina ahtii*, *R. aspersa*, *R. bajacalifornica*, *R. sonorensis* y *R. wigginsii*, *Rocella decipiens*, *R. peruvensis*, *Teloschistes chrysophthalmus*, *Tephromela nashii* y *Thelopsis isiaca*. Estas especies

forman un gran subgrupo que habita a lo largo de la costa del Pacífico de Baja California, donde la biomasa líquénica equivale a la tercera parte de la biomasa de las plantas vasculares del área (Nash *et al.*, 1979). Casi todas estas especies crecen en corteza y cerca de la mitad de ellas son especies fruticosas, las cuales son raras o están ausentes en las áreas discutidas en párrafos previos.

En la parte más al sur del estado la selva baja caducifolia (Brown *et al.*, 2007; Martin *et al.*, 1998) se extiende hacia el norte a lo largo de los valles hasta Tepoca y la sierra de San Javier. *Bulbothrix atrichella* y *B. isidiza* son probablemente las especies más típicas de este hábitat, aunque muchas de las especies del matorral espinoso se extienden a estas áreas.

En las elevaciones más altas de Sonora la vegetación de la Sierra Madre Occidental está dominada por bosques de encinos y bosques de pino-encino (Martin *et al.*, 1998) y por el Bosque Madreño de Brown *et al.* (2007). Estas comunidades de montaña crecen en las sierras del norte y de manera mucho más extensa a lo largo de la frontera con Chihuahua. Los líquenes son muy abundantes en estos bosques, particularmente las grandes especies foliosas que crecen sobre corteza (*v.g. Collema* spp., *Flavopunctelia* spp., *Heterodermia* spp., *Hypotrachyna* spp., *Leptogium* spp. y *Punctelia* spp.) y aquellas que cubren rocas expuestas (*Flavoparmelia* spp., *Lasallia* spp., *Parmotrema* spp. y *Xanthoparmelia* spp.). Otras especies de *Ramalinae* y *Usnea* aportan diversidad estructural con sus talos fruticosos tridimensionales. Hay también un buen número de especies pequeñas costrosas, tales como *Buellia lacteoidea*, *B. spuria*, *Haematomma fenzlianum*, *Lecanora brodoana*, *Lecidella viridans*, *Pertusaria moreliensis* y *P. tejocotensis*.

tributions. *Canotia* 3, p. 5.

- MARTIN, P.S., D.A. YETMAN, M. FISHBEIN, P. JENKINS, T.R. VAN DEVENDER y R.K. WILSON, eds. 1998. Gentry's Río Mayo Plants. *The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- NASH III, T.H. 1996. Introduction. En: T.H. Nash III, ed. *Lichen Biology*. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra, pp. 1-7.
- NASH III, T.H., B.D. RYAN, P. DIEDERICH, C. GRIES y F. BUNGARTZ, eds. 2004. Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region, vol. II. Lichen Unlimited: Tempe, Arizona.
- NASH III, T.H., B.D. RYAN, C. GRIES y F. BUNGARTZ, eds. 2002. Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region, vol. I. Lichen Unlimited: Tempe, Arizona.
- NASH III, T.H., C. GRIES y F. BUNGARTZ, eds. 2007. Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region, vol. III. Lichen Unlimited. Tempe, Arizona (en prensa).
- NASH III, T.H., G.T., NEBEKER, T. J., MOSER y T. REEVES. 1979. Lichen Vegetational Gradients in Relation to the Pacific Coast of Baja California: The Maritime Influence. *Madroño* 26: 149-163.
- SHREVE, F. 1951. Vegetation of the Sonoran Desert. Carnegie Inst. Wash. Publ. 591.

LITERATURA CITADA

- BROWN, D.E., T.C. BRENNAN, C.H. LOWE y P.J. UNMACK. 2007. Biotic Communities of the Southwestern United States and Northwestern Mexico. En: D. E. Brown, T.C. Brennan y P.J.A. Unmack, eds. *A Digitized Biotic Community Map for Plotting and Comparing North American Plant and Animal Dis-*

SITUACIÓN DEL CONOCIMIENTO SOBRE LOS MUSGOS

CLAUDIO DELGADILLO M.¹

RESUMEN. Aunque se han registrado 981 especies y variedades para la flora de musgos de México, solamente se conocen unas 84 para el estado de Sonora. Existen pequeñas colecciones de áreas del norte, noroeste y centro del estado que incluyen un contingente de 35 especies y variedades de musgos de la familia Pottiaceae. Con base en lo que se conoce y con exploración adicional se podrían obtener datos sobre formas de vida y estrategias reproductivas para entender las adaptaciones y distribución de las plantas en ambientes extremos.

ABSTRACT. Although the moss flora of Mexico includes about 981 species and varieties, only 84 are known from the state of Sonora. Small collections from the northern, northeastern and central parts of the state include some 35 species and varieties in the family Pottiaceae. On the basis of what is known and with additional exploration, the moss flora of Sonora is expected to yield information on life forms and reproductive strategies that would help to understand plant adaptation and distribution in extreme environments.

INTRODUCCIÓN

México se considera como un país megadiverso en el que algunos grupos de organismos están ampliamente representados. Mittermeier y Goetsch (1992) indican que por su número de plantas vasculares (veintiseis mil especies), México ocupa el cuarto lugar en biodiversidad a escala mundial. De manera similar, por el número de especies animales, los reptiles, mamíferos y anfibios sitúan al país entre el primero y cuarto lugares. Los musgos tam-

bién representan un grupo importante en la flora nacional; su significado se revisa brevemente en los siguientes párrafos con énfasis en el conocimiento de los musgos del estado de Sonora.

Desde principio del siglo XIX varias publicaciones proporcionan datos florísticos sobre musgos mexicanos. El trabajo formal más antiguo es el de Hooker (1818-1820), pero los verdaderamente significativos por el número de especies citadas son los de Bescherelle (1872) y Müller (1848-1851). Éstos y otros del mismo período describen especies de musgos colectados principalmente en el Distrito Federal, Estado de México, Michoacán y Veracruz. Aunque en forma posterior se han explorado otras áreas, la tendencia hacia la recolección en esos estados del centro del país ha predominado. En comparación, ciertos estados como Guanajuato, Querétaro y Zacatecas eran virtualmente desconocidos hasta años recientes en que se colectaron musgos ahí (Delgadillo y Cárdenas, 1979 y 1996; Cárdenas y Delgadillo, 1984; Herrera, 2005; Herrera *et al.*, 2008). Aun así, todavía existen vastas regiones del territorio nacional que no han recibido atención adecuada, por lo que el número de especies de musgos en su flora sólo es parcialmente conocido. En esta situación se encuentra la flora de musgos del estado de Sonora.

COLECCIONES

Bartram y Richards (1941) son los únicos que se han referido específicamente a los musgos de Sonora. Estos autores identificaron los ejemplares de una pequeña colección realizada por Donald Ri-

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

chards y Francis Douret en 1939 con la que dieron a conocer un listado de 26 especies y variedades incluyendo a *Isopterygium richardsii* E.B. Bartram (= *Pseudotaxiphyllum richardsii*) como especie nueva. Otras publicaciones como las de Cardot (1909) y de Zander (2005) citan registros de la flora sonorense de manera incidental o especial; el primero describió *Funaria (Enthostodon) sonorae* como especie nueva, mientras que el segundo (Zander, 2005) reconoció a *Molendoa ogalalensis* como nuevo registro para México a partir de tres ejemplares estudiados previamente (Zander, 1977), pero identificados como *M. sendtneriana* (B.S.G.) Limpr. Van Devender *et al.* (2003) incluyen a *Sphagnum palustre* como parte de la flora de la porción oriental del estado.

De acuerdo con Crum (1951), existen colecciones de White y de Phillips del noreste de Sonora en el herbario de la Universidad de Michigan (Mich), pero no fueron examinadas para el presente trabajo. En fecha reciente se incorporaron algunos ejemplares de Sonora a la Colección de Briofitas del Herbario Nacional (MEXU) que documentan la presencia de varias especies en la flora de esa entidad.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Crum (1951) contiene dos listas. La primera incluye nombres de especies y variedades de musgos mexicanos con datos de su distribución local y mundial. La segunda proporciona nombres de colectores, números de colecta y los herbarios donde están depositados los ejemplares de respaldo de los taxa en nuestra flora. En años recientes se publicó *The Moss Flora of Mexico* (Sharp *et al.*, 1994), la cual actualiza la nomenclatura y distribución de los musgos mexicanos y agrega sinonimia, comentarios y datos generales sobre el hábitat de cada taxón. Los cambios más recientes en la nomenclatura se han resumido en una versión electrónica actualizada de LATMOSS (Delgadillo *et al.*, 1995). Estas tres obras ofrecen la información básica necesaria para la investigación florística de los mus-

gos de México y Sonora y de ellas derivan los datos de las tablas 1, 2 y 3.

DIVERSIDAD DE LA FLORA DE MUSGOS DE MÉXICO Y SONORA

La flora de musgos de México comprende 981 especies y variedades. De acuerdo con los datos en la versión electrónica actualizada de LATMOSS (Delgadillo *et al.*, 1995), su tamaño es similar a la de los países andinos, pero claramente más pequeño que la de Brasil (tabla 1). Es una flora con relaciones geográficas complejas en la que existen contingentes de especies que relacionan la flora de musgos mexicanos con el sureste asiático y las islas del Pacífico, con África y con Norte y Sudamérica. Existen, además, elementos disyuntos de distribución tricéntrica o de distribución mundial amplia. Las especies endémicas representan alrededor de ocho por ciento de la flora de musgos mexicanos. En un sentido más amplio, se pueden distinguir las especies templadas que se distribuyen principalmente en las partes altas de las sierras y en latitudes septentrionales. Éstas se entremezclan en las elevaciones intermedias con las especies tropicales que se distribuyen preferentemente en las elevaciones bajas y en las zonas intertropicales.

Los musgos conocidos del estado de Sonora comprenden 84 especies y variedades (tabla 2). De ellas, Sharp *et al.* (1994) citan 65 especies y variedades, con la sustitución de *Molendoa sendtneriana*, en virtud de que los ejemplares pertenecen a otro taxón (Zander, 2005). Varios ejemplares de *Bryum ar-*

Tabla 1. Tamaño de la flora de musgos en algunos países neotropicales (según la versión electrónica actualizada de Delgadillo *et al.*, 1995)

México	980
Colombia	1 030
Venezuela	823
Ecuador	886
Perú	940
Bolivia	1 132
Brasil	1 613

Tabla 2. Especies y variedades de musgos conocidos del estado de Sonora (citados principalmente en Sharp *et al.*, 1994; Pursell, 2007, y otras fuentes)

<i>Amblystegium varium</i> (Hedw.) Lindb.	<i>Hennediella heteroloma</i> (Cardot) R.H. Zander var. <i>eckeliae</i> (R.H. Zander) R.H. Zander
<i>Anacolia laevisphaera</i> (Tayl.) Flow.	<i>Herpetineuron toccoe</i> (Sull. y Lesq.) Cardot
<i>Anoetangium aestivum</i> (Hedw.) Mitt.	<i>Hymenostylium recurvirostrum</i> (Hedw.) Dix. var. <i>recurvirostrum</i>
<i>Anomobryum filiforme</i> (Dicks.) Solms ex Rabenh.	<i>Jaffueliobryum wrightii</i> (Sull. in Gray) Thér.
<i>Anomodon attenuatus</i> (Hedw.) Hüb.	<i>Molendoa ogalalensis</i> (G.L. Smith) Zand.
<i>Anomodon tristis</i> (Ces.) Sull. y Lesq.	<i>Plaubelia sprengelii</i> (Schwägr.) R.H. Zander var. <i>sprengelii</i>
<i>Barbula indica</i> (Hook.) Spreng. var. <i>indica</i>	<i>Plaubelia sprengelii</i> var. <i>stomatodonta</i> (Cardot) R.H. Zander
<i>Barbula orizabensis</i> C. Müll. Hal.	<i>Philonotis fontana</i> (Hedw.) Brid.
<i>Braunia secunda</i> (Hook.) B.S.G.	<i>Philonotis uncinata</i> (Schwaegr.) Brid.
<i>Bryoerythrophyllum recurvirostrum</i> (Hedw.) Chen var. <i>recurvirostrum</i>	<i>Physcomitrium delicatulum</i> Crum y Anders.
<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	<i>Pleurochaete squarrosa</i> (Brid.) Lindb.
<i>Campyliadelphus chrysophyllum</i> (Brid.) Kanda	<i>Pohlia elongata</i> Hedw.
<i>Campylopus pilifer</i> Brid. ssp. <i>pilifer</i>	<i>Pseudocrossidium crinitum</i> (Schultz) R.H. Zander
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid. ssp. <i>stenocarpus</i> (B.S.G.) Dix.	<i>Pseudocrossidium replicatum</i> (Tayl.) R.H. Zander
<i>Crossidium aberrans</i> Holz. y E.B. Bartram	<i>Pseudotaxiphyllum homomallifolium</i> (Redf.) Irel.
<i>Didymodon australasiae</i> (Hook. y Grev.) R.H. Zander var. <i>australasiae</i>	<i>Pseudotaxiphyllum richardsii</i> (E.B. Bartram) Irel.
<i>Didymodon rigidulus</i> Hedw. var. <i>subulatus</i> (Thér. y E.B. Bartram) R.H. Zander	<i>Pterygoneurum subsessile</i> (Brid.) Jur.
<i>Didymodon rigidulus</i> var. <i>gracilis</i> (Schleich. ex Hook. y Grev.) R.H. Zander	<i>Ptychomitrium sinense</i> (Mitt.) Jaeg.
<i>Didymodon tophaceus</i> (Brid.) Lisa	<i>Pylaisia selwynii</i> Kindb.
<i>Entodon beyrichii</i> (Schwägr.) Müll. Hal.	<i>Racopilum tomentosum</i> (Hedw.) Brid.
<i>Entosthodon muhlenbergii</i> (Turn.) Fife	<i>Rhynchostegium pulchellum</i> (Hedw.) Robins. var. <i>praecox</i> (Hedw.) McFarland
<i>Entosthodon sonorae</i> (Cardot) Steere	<i>Rhynchostegium riparioides</i> (Hedw.) Cardot
<i>Erpodium acrifolium</i> Pursell	<i>Schistidium apocarpum</i> (Hedw.) Bruch y Schimp.
<i>Eucladium verticillatum</i> (Brid.) B.S.G.	<i>Scopelophila cataractae</i> (Mitt.) Broth.
<i>Fabronia ciliaris</i> (Brid.) Brid. var. <i>polycarpa</i> (Hook.) Buck	<i>Sphagnum palustre</i> L.
<i>Fissidens crispus</i> Mont.	<i>Splachnobryum obtusum</i> (Brid.) Müll. Hal.
<i>Fissidens dubius</i> P. Beauv.	<i>Syntrichia bartramii</i> (Steere) R.H. Zander
<i>Fissidens fontanus</i> (B.-Pyl.) Steud.	<i>Syntrichia fragilis</i> (Tayl.) Ochyra
<i>Fissidens grandifrons</i> Brid.	<i>Syntrichia inermis</i> (Brid.) Bruch
<i>Funaria hygrometrica</i> Hedw. var. <i>calvescens</i> (Schwaegr.) Mont.	<i>Syntrichia pagorum</i> (Milde) Amann
<i>Grimmia orbicularis</i> Bruch in Wils.	<i>Syntrichia ruralis</i> (Hedw.) Web. y Mohr
<i>Grimmia pilifera</i> P. Beauv.	<i>Thuidium delicatulum</i> (Hedw.) Schimp. var. <i>delicatulum</i>
<i>Grimmia pulvinata</i> (Hedw.) Sm.	<i>Thuidium delicatulum</i> var. <i>radicans</i> (Kindb.) Crum, Steere y Anders.
<i>Gymnostomum aeruginosum</i> Sm.	<i>Timmiella anomala</i> (B.S.G.) Limpr.
<i>Haplocladium angustifolium</i> (Hampe y Müll. Hal.) Broth.	<i>Tortula brevipes</i> (Lesq.) Broth.
<i>Haplocladium microphyllum</i> (Hedw.) Broth.	<i>Trichostomum brachydontium</i> Bruch
<i>Hedwigia ciliata</i> (Hedw.) Ehrh. ex P. Beauv.	<i>Weissia condensa</i> (Voit) Lindb.
	<i>Weissia controversa</i> Hedw.
	<i>Weissia jamaicensis</i> (Mitt.) Grout

genteum, *Philonotis uncinata* y *Syntrichia bartramii* fueron enlistados por Bartram y Richards (1941), pero no fueron citados para el estado de Sonora en la flora de México; *Sphagnum palustre* es una adición reciente. Pursell (2007) cita ejemplares revi-

sados en la evaluación del género *Fissidens* para el Neotrópico.

Además de las anteriores, se pueden considerar como parte de la flora ocho especies citadas por Crum (1951) cuyos ejemplares requieren confir-

Tabla 3. Especies de musgos de Sonora reconocidos por Crum (1951) pero no incluidos en la tabla 2 (en la columna de la izquierda están los nombres aceptados y la columna de la derecha incluye los nombres en el trabajo original)

Especie	Sinónimo citado en Crum (1951)
<i>Bryum apiculatum</i> Schwaegr.	<i>Poblia cruegeri</i> (Hampe) Andr.
<i>Crossidium crassinerve</i> (De Not.) Jur.	<i>C. desertorum</i> Holz. y E.B. Bartram
<i>Desmatodon guepinii</i> B.S.G.	
<i>Fissidens bryoides</i> Hedw.	<i>F. viridulus</i> (Sw.) Wahl.
<i>Fissidens crispus</i> Mont.	<i>F. limbatus</i> Sull.
<i>Fissidens dubius</i> P. Beauv.	<i>F. cristatus</i> Wils.
<i>Fissidens fontanus</i> (B.-Pyl.) Steud.	<i>F. debilis</i> Schwaegr.
<i>Fissidens sublimbatus</i> Grout	
<i>Homomallium mexicanum</i> Cardot	
<i>Philonotis sphaericarpa</i> (Hedw.) Brid.	
<i>Syntrichia obtusissima</i> (C.M.) R.H. Zander	<i>Tortula obtusissima</i> (Müll. Hal) Mitt.

Nota: en la columna de la izquierda están los nombres aceptados; la columna de la derecha incluye los nombres en el trabajo original.

mación (tabla 3). Es probable que éstos no hayan sido estudiados como parte de los trabajos para la flora de Sharp *et al.* (1994). Si se incluyen de manera preliminar, la flora de musgos del estado de Sonora está formada por 85 especies y variedades de musgos.

Es notable, pero no extraño, que alrededor de 42% de la flora de musgos conocida para Sonora –35 especies y variedades– pertenece a la familia Pottiaceae. Los miembros de esta familia son habitantes de ambientes extremos como áreas perturbadas o de climas secos. Sin embargo, se debe esperar una mejor representación de otros grupos de musgos, por ejemplo, los que están asociados con *Amblystegium varium*, *Anomodon attenuatus* o *Haplocladum microphyllum* en otras partes del país donde existen ambientes templados o con mayor humedad. Es probable que muchas de las especies conocidas para la flora de California (Norris y Shevock, 2004) estén presentes en el estado de Sonora y que musgos efímeros o cleistocárpicos también estén bien representados, aunque no se han detectado.

Pseudotaxiphyllum richardsii es la única especie mexicana endémica conocida de Sonora. En México, *Entosthodon sonorae*, *Molendoa ogalalensis*, *Physcomitrium delicatulum* y *Pseudotaxiphyllum homomallifolium* sólo son conocidas de ese estado, pero tienen una distribución más amplia, principalmente en Estados Unidos.

COMPARACIÓN CON ESTADOS VECINOS

Los datos preliminares de la tabla 4 muestran la diversidad de musgos en los estados del noroeste de la República Mexicana. En la preparación de los tratamientos para la flora de musgos de México (Sharp *et al.*, 1994) el énfasis parece haberse puesto en la recopilación de las especies a escala nacional mas no en su distribución por estado. Tales datos sólo proporcionan una idea de los tamaños de las floras estatales, pero se deben tomar con reserva, como se puede ilustrar con en el caso de Baja California Sur. Bowers *et al.* (1976) registran 56 especies y variedades para ese estado, pero Sharp *et al.* (1994) reconocen apenas 27, en tanto que para Sonora, los autores de la flora de México citan 65 especies y variedades. Los datos de la tabla 4 incluyen las especies no confirmadas de la tabla 3.

A pesar de las observaciones anteriores, las flo-

Tabla 4. Número de especies de musgos conocidas para los estados del noroeste de México y el número de taxa compartidos con Sonora

Estados	BC	BCS	Chih	Dgo	Sin	Son
Baja California	112					31
Baja California Sur		27				7
Chihuahua			110			41
Durango				141		37
Sinaloa					53	12
Sonora						84

ras de musgos de los estados del noroeste del país son comparativamente pequeñas. Los estados del sur que han sido visitados con mayor frecuencia muestran números sensiblemente más grandes, aun en las regiones secas. El reducido número de especies compartidas entre Sonora y Baja California Sur y Sinaloa podría ser debido a la falta de información sobre los musgos de la región.

NECESIDADES DE COLECTA E INVESTIGACIÓN

Indudablemente las colecciones de Sonora son muy pobres, aun cuando se tomen en consideración las depositadas en herbarios extranjeros. De acuerdo con los datos de Bartram y Richards (1941), sus colecciones provienen de los alrededores de Hermosillo y de Ures, Baviácora y Cumpas, todas ellas en el centro del estado; otras muestras de esos colectores provienen del norte del estado en la zona de Ímuris y Magdalena. Si se agregan las colecciones de White y de Phillips del noreste, es evidente que las muestras de musgos no proveen un conocimiento florístico elemental y que, por razones prácticas, todo el estado de Sonora debe explorarse cuidadosamente.

Los climas en el estado de Sonora son principalmente de tipo B, es decir, secos, excepto en localidades con elevaciones comparativamente altas (cf. García, 1981). En esos ambientes se anticipa la presencia de «céspedes» o «cojines» como las formas de vida más importantes, pero se deben buscar otras adaptaciones y formas de vida en la flora estatal. Las modificaciones estructurales del gametofito y las estrategias reproductivas en un clima con lluvia estacional son temas de investigación para comprender mejor los patrones de distribución. En Sonora se pueden esperar especies de vida corta o efímera como las que se conocen en otras partes del país (Cárdenas, 1988; Zander y During, 1999). Especies como *Phascum hyalinotrichum* Cardot y Thér. [= *Stegonia hyalinotricha* (Cardot y Thér.) R.H. Zander] podrían encontrarse en la flora de Sonora, pues se conoce de la zona de Los Ángeles en California, en Baja California y en Zacate-

cas; son plantas de vida corta, diminutas, blanquecinas, en grupos de dos a cuatro, con hojas terminadas en un pelo hialino y con esporofitos cleistocárpicos inmersos. Tales características pueden considerarse como las modificaciones estructurales óptimas de los musgos a lugares secos que podrían buscarse en los ambientes extremos del estado de Sonora.

LITERATURA CITADA

- BARTRAM, E.B. y D. RICHARDS. 1941. Mosses of Sonora. *Bryologist* 44: 59-65.
- BESCHERELLE, E. 1872. Prodromus Bryologiae Mexicanae ou Énumération des Mousses du Mexique avec Description des Espèces Nouvelles. *Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Cherbourg* 16: 144-256.
- BOWERS, F.D., C. DELGADILLO-M. y A.J. SHARP. 1976. The Mosses of Baja California. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 40: 397-410.
- CÁRDENAS, A. 1988. Los musgos cleistocárpicos del Valle de México, México. *Bryologist* 91: 214-216.
- CÁRDENAS, A. y C. DELGADILLO-M. 1984. Musgos de Zacatecas, México II. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 46: 13-18.
- CARDOT, J. 1909. Diagnoses préliminaires de mousses mexicaines. *Revue Bryologique* 36: 105-115.
- CRUM, H.A. 1951. The Appalachian-Ozarkian Element in the Moss Flora of Mexico with a Checklist of all Known Mexican Mosses. Tesis de doctorado, University of Michigan. Ann Arbor, 504 p.
- DELGADILLO, C., B. BELLO y A. CÁRDENAS. 1995. LATMOSS, a Catalogue of Neotropical Mosses. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 56: 1-191.
- DELGADILLO, C. y A. CÁRDENAS. 1979. Musgos de Zacatecas, México I. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 38: 1-6.
- DELGADILLO, C. y A. CÁRDENAS. 1987. Musgos de Zacatecas, México III. Síntesis y fitogeografía. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 47: 13-24.
- DELGADILLO, C. y A. CÁRDENAS. 1996. A Preliminary Checklist of the Mosses of Guanajuato, Mexico. *Flora del bajío y regiones adyacentes. Fascículo complementario* XI: 1-14.
- GARCÍA, E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación*

- ción climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)* 3a. ed. México.
- HERRERA, P. 2005. *Musgos y fitogeografía de Querétaro*. Tesis de maestría. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 62 p.
- HERRERA, P., C. DELGADILLO, J.L. VILLASEÑOR e I. LUNA-VEGA. 2008. Floristics and Biogeography of the Mosses of the State of Queretaro, Mexico. *Bryologist* 111: 41-56.
- HOOKE, W.J. 1818-1820. *Musci Exotici. Containing Figures and Descriptions of New or Little Known Foreign Mosses and other Cryptogamic Subjects*. 2 vols. Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown, Londres.
- MITTERMEIER, R.A. y C. GOETTSCHE. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: J. Sarukhán y R. Dirzo, comps. *México ante los retos de la biodiversidad*. Conabio, México, pp. 63-73.
- MÜLLER, C. 1848-1851. *Synopsis Muscorum Frondosorum Omnium Hucusque Cognitorum*. 2 vols. Sumptibus Alb. Foerstner, Berolini.
- NORRIS, D.H. y J.R. SHEVOCK. 2004. Contributions Toward a Bryoflora of California I. A Specimen-Based Catalogue of Mosses. *Madroño* 51: 1-131.
- PURSELL, R.A. 2007. Fissidentaceae. F1. *Neotropiocal* 101: 1-278.
- SHARP, A.J., H.A. CRUM y P.M. ECKEL, eds. 1994. The Moss Flora of Mexico. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 69: 1-1113.
- VAN DEVENDER, T.R., A.L. REINA-GUERRERO, M.C. PEÑALBA. y C.I. ORTEGA. 2003. The Ciénaga de Camilo: A Threatened Habitat in the Sierra Madre Occidental of Eastern Sonora, Mexico. *Madroño* 50: 187-195.
- ZANDER, R. 1977. The Tribe Pleuroweisieae (Pottiaceae, Musci) in Middle America. *Bryologist* 80: 233-269.
- ZANDER, R. 2005. *Molendoa ogalalensis* (Bryopsida, Pottiaceae) New to Mexico. *Bryologist* 108: 129-130.
- ZANDER, R. y H.J. DURING. 1999. *Neophoenix* (Pottiaceae) a New African Moss Genus Found Through Doil Diaspore Analysis. *Taxon* 48: 657-662.

PTERIDOFITAS

GEORGE YATSKIEVYCH,¹ THOMAS R. VAN DEVENDER² Y ANA LILIA REINA-GUERERRO³

RESUMEN. El estado de Sonora tiene una flora de pteridofitas (helechos y licofitas) diversa que consiste de 16 familias con 39 géneros y 142 taxones. Colectivamente, esto representa más del 13% de la diversidad de plantas vasculares sin semilla en México. Los siete géneros con más especies representan 58% de la flora de pteridofitas, pero 18 géneros están representados por una sola especie. La flora pteridofita de Sonora se caracteriza mejor como de zona cálida-templada. Muchos de los grupos tropicales como helechos encaje (Hymenophyllaceae) y helechos arbóreos (Cyatheaceae, Dicksoniaceae) no están representados y una sola especie es regularmente una epífita. La flora también tiene una gran influencia de la sequía estacional. Las especies de humedal están muy pobremente representadas en la flora. Sin embargo, el estado es un centro de diversidad de Pteridaceae, donde muchas especies tienen adaptaciones para evitar o soportar la sequía. Cerca de la mitad (66) de las especies de pteridofitas en Sonora se encuentran en esta familia. Sólo dos especies de pteridofitas son endémicas a Sonora, únicamente cuatro taxones adicionales están restringidos al noroeste de México y otras doce especies son endémicas al noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos. Así, el endemismo regional es relativamente bajo. Afortunadamente, sólo hay dos pteridofitas no nativas en la flora. El conocimiento de las pteridofitas sonorenses aún se encuentra relativamente incompleto, con 21 municipios dispersos sin ejemplares de herbario y otros 32 con cinco o menos especies de helechos representados en herbarios. Dos municipios tienen considerablemente más registros de pteridofitas que otros: Yécora (79 especies) y Álamos (78 especies); cada uno tiene casi cuatro veces más la cantidad de especies registradas en el siguiente nivel más alto (Nogales, con 21 especies).

¹ Missouri Botanical Garden.

² Sky Island Alliance.

³ University of Arizona.

ABSTRACT. The state of Sonora has a rich pteridophyte (fern and lycophyte) flora that consists of 16 families comprising 39 genera and 142 total taxa. Collectively, these represent more than 13% of the diversity of seed-free vascular plants in Mexico. The seven most speciose genera account for account 58 percent of the overall pteridophyte flora, but 18 genera are represented by just a single species. The pteridophyte flora of Sonora is best characterized as warm-temperate. Many of the tropical groups are not represented, including filmy ferns (Hymenophyllaceae) and tree ferns (Cyatheaceae, Dicksoniaceae), and only one species is regularly epiphytic. The flora also is heavily influenced by seasonal drought. Wetland species are poorly represented in the flora. However, the state is a center of diversity for the Pteridaceae, many of which have adaptations to avoid or withstand drought. Nearly half (66) of the Sonoran pteridophyte species are in this family. There are only two pteridophyte species endemic to Sonora, only four additional taxa that are restricted to northwestern Mexico, and another 12 species that are endemic to northwestern Mexico and the southwestern United States. Thus regional endemism is relatively low. Fortunately, there are only two non-native pteridophytes in the flora. Knowledge of Sonoran pteridophytes is still relatively incomplete, with 21 scattered municipios lacking any herbarium vouchers and 32 others with five or fewer fern species represented in herbaria. Two municipios have significantly more pteridophyte records than others: Yecora (79 species) and Alamos (78 species) each have nearly four times as many species recorded as the next highest number (Nogales, with 21 species).

INTRODUCCIÓN

Las pteridofitas son plantas vasculares cuyos ciclos de vida se caracterizan por la producción de espo-

ras libres y una alternancia de generaciones gametofíticas y esporofíticas separadas, a diferencia de la producción de órganos especializados como son las flores, los frutos y las semillas. Los términos *pteridofitas*, *helechos* y *afines* y *criptógamas vasculares* son nombres informales para un grupo filogenéticamente diverso de cerca de trece mil especies que exhiben variaciones de este tipo de ciclo de vida menos complejo. La investigación con datos de fósiles, análisis morfológicos y anatómicos y estudios moleculares durante las dos últimas décadas (resumido en Smith *et al.*, 2006), ha establecido que el grupo de las licofitas representa el linaje basal de las plantas vasculares y que el resto de los helechos son un grupo hermano de las espermatofitas. Esto ha resultado en una reclasificación de las pteridofitas, con la consecuencia de que algunos grupos como los *Equisetum* o «cola de caballo» (Equisetaceae) y los helechos escobeta (Psilotaceae), que anteriormente se consideraban como afines de los helechos, actualmente son consideradas como miembros primitivos del verdadero linaje de los helechos.

Se han propuesto varias clasificaciones taxonómicas para las pteridofitas, pero para algunos grupos todavía persisten controversias sobre la delimitación de algunas familias y géneros. Hasta hace poco, muchos botánicos del continente americano han usado un sistema de clasificación que fue desarrollado en un principio por Tryon y Tryon (1982) y ligeramente corregido por Kramer (1990). Sin embargo, recientemente se ha publicado una nueva clasificación más amplia de los helechos existentes (Smith *et al.*, 2006), surgida como respuesta a los numerosos estudios taxonómicos y filogenéticos que se han hecho en las dos últimas décadas y que también refleja el consenso reciente de que un linaje solitario de helechos se separa bastante de las licofitas. Esta nueva clasificación es la que se sigue en el presente trabajo.

Ecológicamente hablando, los helechos se diferencian de las plantas con semilla en que las esporas son el principal medio de dispersión y que no hay interacción entre estructuras reproductivas atractivas como flores y frutos con vectores anima-

les para terminar el ciclo de vida. El concepto de que las esporas microscópicas de dispersión anemófila de la mayoría de los helechos facilita la dispersión a larga distancia, haciéndolos excelentes colonizadores contrasta con la observación de que muchas especies de helechos ocupan nichos ecológicos relativamente limitados en microhábitats especializados o en sustratos restringidos. El hecho de que casi todos los helechos producen un gametofito no vascular de vida independiente con una tolerancia limitada a la sequía y que las especies sexuales necesitan la presencia de cuerpos de agua donde los espermatozoides móviles puedan viajar a un huevo para efectuar la fertilización, tiene limitantes para que los helechos crezcan en muchos hábitats. Así, las floras de helechos en todo el mundo tienden a representar una mezcla de especies relativamente comunes con una distribución amplia, ocurrencias disyuntas menos comunes de especies que son más comunes en otras partes y los taxones menos comunes que son las endémicas a la región.

La mayoría de las pteridofitas son isosporadas y producen cantidades relativamente grandes de esporas microscópicas (normalmente 30-60 μm) con morfología similar que producen gametofitos potencialmente bisexuales. Sin embargo, un pequeño número de helechos principalmente acuáticos, incluyendo algunas licofitas, son heterosporados. Estas plantas producen numerosas microsporas microscópicas que se desarrollan como gametofitos masculinos y muchas menos megasporas (esporas grandes) de hasta 1 mm que producen gametofitos femeninos. Las discusiones sobre la dispersión de largo alcance y la capacidad de colonización de los helechos se basan principalmente en especies isosporadas, en las cuales, en teoría, una especie solitaria puede dar origen a una nueva planta esporófito. Los helechos heterosporados por lo regular son más difíciles de dispersar por corrientes de aire (al menos las megasporas) y también requieren que coincida la proximidad de dos esporas y los subsiguientes gametofitos unisexuales a fin de que la reproducción sexual sea exitosa.

Por otro lado, en climas especialmente severos, y con sequías estacionales como los que predomi-

nan en Sonora, algunas especies de helechos se reproducen de forma apomíctica y no por el ciclo de vida sexual normal. Estas plantas producen esporas sin reducir que dan origen a gametofitos, pero no se producen células de óvulos y el nuevo tejido esporofítico se diferencia asexualmente de forma directa de las células gametofíticas. Ese tipo de plantas generalmente requiere menos tiempo para crecer y madurar que la generación gametofítica y no necesita de cuerpos de agua para completar su ciclo de vida. Los taxones apomícticos tienden a superar a sus progenitores sexuales y en muchos casos parecen que reemplazan de forma gradual a sus progenitores sexuales dentro de su rango de distribución.

Perspectiva histórica

La exploración botánica de Sonora es una actividad relativamente moderna. De hecho, el presente trabajo es el primer intento por recopilar un listado completo de la flora de pteridofitas del estado. No es sino hasta fechas recientes que algunos colectores se han interesado en los helechos, aunque una buena cantidad de ejemplares se ha acumulado en los herbarios como resultado de actividades botánicas generales en Sonora.

Los primeros botánicos profesionales que visitaron Sonora fueron los seis asignados al primer inventario de la frontera México-Estados Unidos que se realizó en 1848: John M. Bigelow, Charles C. Parry, Arthur C. V. Schott, Edmund K. Smith, George Thurber y Charles Wright. Aunque el informe de la expedición incluía una lista de 45 taxones de pteridofitas, sólo en uno de ellos se cita claramente que fue de Sonora: un ejemplar de *Cheilanthes fendleri* colectado por Parry (Eaton, 1858). Sin embargo, el informe no incluye los registros de cada ejemplar colectado durante la expedición. Por ejemplo, el ejemplar más antiguo que examinamos para este trabajo es un ejemplar de *Notholaena grayi*, colectado por Schott en 1855 en la sierra del Pajarito, la que cruza la frontera Arizona-Sonora. Ellos viajaron y colectaron desde Agua Prieta a Santa Cruz y Nogales en el actual estado de Sonora.

Edward Palmer, un colector empedernido de la

flora mexicana, primero exploró partes del noroeste de Sonora en 1869 y 1870 (McVaugh, 1956). Según McVaugh, después colectó en varias partes del estado durante expediciones realizadas en 1887, 1889, 1890-1892 y 1897. Aunque Palmer hizo muchas colecciones importantes de helechos en otros estados de México, colectó muy pocos ejemplares de éstos durante sus viajes a Sonora.

Las siguientes colectas de pteridofitas en Sonora fueron hechas por el botánico y antropólogo sueco Carl V. Hartman y el botánico americano Francis E. Lloyd. Ellos acompañaban al explorador noruego Carl Lumholtz en su expedición arqueológica a México en 1890-1893, la cual empezó en Bisbee, Arizona, siguiendo hacia el sur y el este y pasando a la porción occidental de Chihuahua en ruta al centro y sur de México (Lumholtz, 1902). Los ejemplares de helechos que se obtuvieron en esta colecta general de plantas incluye el material tipo de *Argyrochosma lumholtzii*.

Otro estudio de la frontera México-Estados Unidos empezó en 1892 y el colector de plantas de esta expedición fue Edgar Mearns, un especialista en mamíferos. Mearns describió la vegetación del noreste de Sonora pero sólo reportó en forma general la flora de la región y colectó muy pocas herbáceas (White, 1948).

Una pequeña cantidad de pteridofitas de Sonora siguió acumulándose en los herbarios más grandes de Estados Unidos hasta finales de la década de 1920, pero en general casi no había exploración botánica en el estado. Esto empezaría a cambiar durante la década de 1930, cuando se iniciaron exploraciones botánicas más completas en varias partes de la región. Tres proyectos florísticos y de vegetación muy importantes comenzaron en esta década, los cuales se enfocaron al noreste, al oeste y a la parte sureste del estado.

Los estudios de vegetación de la región del Desierto Sonorense y áreas adyacentes realizados por Forrest Shreve empezaron en 1932 (Shreve y Wiggins, 1964). Él y sus colegas comenzaron a coleccionar de forma extensiva en la porción desértica del estado, incluyendo las sierras aisladas en el Desierto Sonorense y las altitudes bajas de las sierras ma-

drenses en su parte oriental. Casi al mismo tiempo, Ira L. Wiggins inició sus estudios sobre la flora vascular del Desierto Sonorense, lo que implicó colectas extensivas por toda la región. Wiggins hizo varios de sus primeros viajes con Shreve y sus colegas, pero ya que Wiggins era más joven, continuó con sus investigaciones hasta 1963, mucho después de la muerte de Shreve en 1950. Los helechos colectados en Sonora durante uno de los primeros viajes que realizaron juntos en 1934 fueron reportados por otro miembro de la expedición, Jack Whitehead (1937). Después Wiggins (1943) publicó un trabajo más general sobre colectas de helechos en el Desierto Sonorense. El tratamiento florístico total para el Desierto Sonorense producto de este esfuerzo (Shreve y Wiggins, 1964) incluye 55 especies de pteridofitas de las cuales 29 se registran de Sonora.

Howard Scott Gentry hizo su primer viaje a la región del río Mayo del sur de Sonora y la parte adyacente de Chihuahua en 1933. Sus estudios en la región durarían más de 27 meses de tiempo total en el campo (hasta finales de 1939) para culminar en su monumental publicación sobre la vegetación y flora, *Rio Mayo Plants* (Gentry, 1942). Gentry incluyó 24 especies de pteridofitas en su catálogo de la flora, de los cuales 16 eran registros de Sonora. Unos de sus hallazgos, como es el caso de *Dennstaedtia distenta* (Kunze) Moore (la que él reportó como *Dicksonia* aff. *rubiginosa*), no se han colectado de nuevo en el estado desde que Gentry hizo las colectas originales.

El tercer proyecto florístico importante que empezó en la década de 1930 fue el trabajo de Stephen S. White en la región del río Bavispe, al noroeste de Sonora. White y sus colegas realizaron cuatro expediciones importantes a caballo en esta área entre 1938 y 1941 y colectaron bastantes ejemplares. Los helechos fueron colectados principalmente por White y el briólogo Edwin A. Phillips. En su reporte de la vegetación y la flora, White (1948) incluyó una lista de 47 especies basándose en más de ciento treinta colectas de pteridofitas, el catálogo más extenso de pteridofitas de Sonora publicado hasta entonces.

Aunque se siguió colectando en Sonora durante las dos décadas siguientes, no fue sino hasta la de 1970 que el interés florístico en Sonora se intensificó de nuevo. Durante esta década, los autores empezaron trabajo de campo en Sonora y numerosos botánicos de Arizona comenzaron a coleccionar plantas y datos: Mark A. Dimmitt, Richard S. Felger, Mark Fishbein, Pierre Fischer, Deborah E. Goldberg, Gene Joseph, Paul S. Martin, Charles T. Mason Jr., Steven P. McLaughlin, Frank Reichenbacher y Greg Starr. La colecta se ha intensificado en las últimas décadas conforme otros botánicos se han interesado en las plantas de Sonora. Estas actividades de colecta han producido datos sobre porciones del estado antes ignoradas, como es el caso de las sierras de caliza en la planicie costera (Yatskievych y Fischer, 1983).

Notable entre los trabajos más recientes es el trabajo etnobotánico y florístico de Richard S. Felger sobre las plantas de la porción noroeste del estado (Felger, 1980, 1999 y 2000; Felger y Lowe, 1976). Estos inventarios han conducido a un entendimiento mucho más completo de la abundancia y distribución de pteridofitas en esta región caliente y seca.

Entre los proyectos más ambiciosos de los volúmenes florísticos a gran escala recientemente publicados sobre Sonora se encuentra el trabajo de Paul S. Martín y sus numerosos colegas para revisar la obra clásica de Gentry de la flora del río Mayo. En ese trabajo, Yatskievych y Piper (1998) catalogaron 82 especies de helechos de la porción Sonorense de la región, más de tres veces la cantidad publicada en el listado original de Gentry (1942), en lo que constituyó la lista más larga de pteridofitas de Sonora previa al presente trabajo. Debe mencionarse que el área geográfica incluida en la edición revisada también era un poco más grande que la que cubrió Gentry.

Los estudios florísticos en Sonora se distinguen de los de otros estados mexicanos porque han sido realizados principalmente por botánicos de Estados Unidos. Relativamente muy pocos botánicos de las principales instituciones de México han colectado en Sonora y muy pocos de ellos han in-

cluido ejemplares de pteridofitas. Hasta cierto punto a Sonora se le ha visto como «la frontera» por los botánicos mexicanos del sur, salvo por los que han estudiado la familia Poaceae con la intención de mejorar el potencial del agostadero, así como por las almas valientes que han estudiado grupos de angiospermas especializadas como son la Cactaceae y los zacates para forraje ganadero (Beetle *et al.*, 1991). Adicionalmente, hasta cerca de 1990, los programas de botánica en las universidades de Sonora no estaban muy involucrados en inventarios florísticos, aunque esto ha cambiado de forma importante, ya que se ha contratado a botánicos de campo, especialmente en la Universidad de Sonora.

El presente estudio se basa en el examen de cerca de mil cuatrocientos especímenes de pteridofitas de Sonora (muchos con duplicados en dos o más herbarios). Éstos provienen principalmente de las ricas colecciones de la University of Arizona y del Missouri Botanical Garden, con especímenes adicionales selectos para estudio de varios herbarios, entre los que se incluyen: University of California at Berkeley, University of California at Riverside, California Academy of Sciences, Gray Herbarium of Harvard University, University of Michigan, New York Botanical Garden, U.S. National Herbarium y el Herbario Nacional de la Universidad Nacional Autónoma de México. Aunque pareciera que mil cuatrocientos ejemplares son una muestra grande, existen muchas oportunidades para obtener nuevos e importantes datos sobre la flora de pteridofitas del estado, especialmente en porciones del este de Sonora entre las regiones de los ríos Mayo y Bavispe, las cuales habían estado relativamente sin caminos hasta épocas recientes.

DIVERSIDAD TAXONÓMICA

Los taxones de pteridofitas documentados para Sonora se enlistan en el apéndice (véase disco compacto). Por conveniencia, nuestro criterio taxonómico a nivel genérico y específico se basa en el reciente tratamiento florístico de las pteridofitas de México por Mickel y Smith (2004). Algunos pun-

tos de controversia taxonómica o potencial desacuerdo con esa obra se discuten brevemente con notas al final del registro taxonómico pertinente. Sólo en los géneros *Astrolepis* y *Notholaena* decidimos segregar unas cuantas subespecies y una especie que Mickel y Smith (2004) trataron pero no reconocieron formalmente. La clasificación de familias de helechos ha sido controversial por más de un siglo. Nosotros seguimos el sistema reciente propuesto por Smith *et al.* (2006), la única clasificación de familias de helechos respaldada con análisis filogenéticos usando datos morfológicos y moleculares.

El listado florístico actual de las pteridofitas de Sonora incluye 16 familias en 39 géneros y 142 taxones en total (136 especies y seis taxones intraespecíficos adicionales sin incluir unos cuantos híbridos ínterespecíficos). En la tabla 1 se presentan los totales de familias, géneros y especies en la flora. Los dos géneros con más especies en Sonora son *Cheilanthes* (27 sp.) y *Selaginella* (16 sp.); éstas representan más del treinta por ciento de la pteridoflora de Sonora. Otros géneros con más de cinco especies en Sonora incluyen *Asplenium* (8 sp.), *Pellaea* (8 sp.), *Adiantum* (7 sp.), *Argyrochosma* (6 sp.) y *Notholaena* (6 sp.). Los siete géneros con más especies representan 58% de la flora total de helechos. Salvo por *Asplenium*, todos estos géneros son ricos en especies xerófitas. Por otro lado, 18 géneros están representados por una sola especie en Sonora.

En la tabla 2 se compara la pteridoflora de Sonora con otras floras selectas. Las especies sonorenses representan más del 13% de la diversidad total de especies de helechos de México. Como lo mencionan Steinmann y Felger (1997) y otros, no hay una separación biogeográfica clara entre Sonora y las unidades políticas adyacentes de Arizona, Chihuahua y Sinaloa. Las floras de estas regiones gradualmente se mezclan unas con otras. Sin embargo, el Golfo de California representa una barrera para la dispersión de plantas de tierra firme a Baja California. Los vientos generados por la actividad del monzón de verano proveniente del sur o el suroeste impactan sólo la parte sur de la península. La cordillera de la península no es continua, la superficie terrestre es estrecha y pequeña y la tie-

Tabla 1. Relación total de las pteridofitas de Sonora
(en la clasificación de las familias se sigue a Smith *et al.*, 2006, y en los géneros, especies e infrataxones a Mickel y Smith, 2004)

Nombre	Número de géneros	Número de especies	Nombre	Número de géneros	Número de especies
Anemiaceae	1		Psilotaceae	1	
<i>Anemia</i>		3	<i>Psilotum</i>		2
Aspleniaceae	1		Pteridaceae	13	
<i>Asplenium</i>		8	<i>Adiantum</i>		7
Blechnaceae	2		<i>Anogramma</i>		1
<i>Blechnum</i>		2	<i>Argyrochosma</i>		6
<i>Woodwardia</i>		3	<i>Astrolepis</i>		4
Dennstaedtiaceae	2		<i>Bommeria</i>		2
<i>Dennstaedtia</i>		1	<i>Cheilanthes</i>		27
<i>Pteridium</i>		1	<i>Cheiloplecton</i>		1
Dryopteridaceae	3		<i>Mildella</i>		1
<i>Dryopteris</i>		1	<i>Notholaena</i>		6
<i>Elaphoglossum</i>		1	<i>Pellaea</i>		8
<i>Phanerophlebia</i>		3	<i>Pentagramma</i>		1
Equisetaceae	1		<i>Pityrogramma</i>		1
<i>Equisetum</i>		2	<i>Pteris</i>		1
Marsileaceae	1		Salviniaceae	2	
<i>Marsilea</i>		2	<i>Azolla</i>		1
Ophioglossaceae	2		<i>Salvinia</i>		1
<i>Botrychium</i>		2	Selaginellaceae	1	
<i>Ophioglossum</i>		3	<i>Selaginella</i>		16
Plagiogyriaceae	1		Thelypteridaceae	1	
<i>Plagiogyria</i>		1	<i>Thelypteris</i>		3
Polypodiaceae	4		Woodsiaceae	3	
<i>Campyloneurum</i>		1	<i>Athyrium</i>		1
<i>Phlebodium</i>		1	<i>Cystopteris</i>		1
<i>Pleopeltis</i>		1	<i>Woodsia</i>		5
<i>Polypodium</i>		4	Totales	16 familias	39 géneros
					136 especies

rra al norte que une a Baja California y Sonora por lo general es muy caliente y muy seca para ser ruta de migración de helechos. Así, la flora de helechos de la península es considerablemente menos diversa que la tierra continental adyacente de Sonora, ya que tiene doce géneros menos y su total está por debajo de la mitad de especies presentes en Sonora.

La flora de helechos de Sinaloa aún no se ha estudiado a detalle y no se dispone de un listado actualizado. Mickel y Smith (2004) ubicaron en un mapa varios helechos cuyo rango de distribución se extiende hasta Sinaloa pero no a Sonora. La mayoría de éstos son especies tropicales que por lo general no crecen al norte del Trópico de Cárter en el sur de Sinaloa. Así, no se esperan muchas

adiciones del sur para la pteridoflora de Sonora. La cumbre de la Sierra Madre Occidental aparentemente no es una barrera biogeográfica formidable para la dispersión de pteridofitas. Las floras de helechos de Sonora y Chihuahua comparten cerca de cien especies (cerca de 73% de la flora de Sonora). Las especies en Chihuahua, pero no en Sonora, principalmente se centran en la flora del Desierto Chihuahuense y no ocurren en sitios altos en la Sierra Madre. Algunos de los helechos de Chihuahua que ocurren principalmente en áreas menos desérticas son candidatos perfectos para encontrarse en Sonora. Entre éstos se incluyen *Asplenium chihuahuense*, *Elaphoglossum muelleri*, *Polypodium guttatum*, *P. hartwegianum*, *P. hesperium*, y *P. subpe-*

Tabla 2. Comparación de la flora de pteridofitas de Sonora con otras pteridofloras selectas de México

Flora	Referencia	Número de géneros	Número de especies
México	Mickel y Smith, 2004	124	1 009
Sonora	Presente trabajo	39	136
Arizona	Yatskievych y Windham (sin publ.)	30	104
Baja California	Wiggins, 1980	27	65
Chihuahua	Correll y Johnston (1962, 1978); Yatskievych y Piper (1998)	39	141

Notas: la cantidad de géneros se ha ajustado para reflejar la clasificación de Mickel y Smith (2004). Para el resumen de las pteridofitas mexicanas en otras partes del país véase Tejero-Díaz y Mickel (2004).

tiolatum. Por ejemplo, gran parte de estas adiciones potenciales para la pteridoflora de Sonora han sido reportadas de la región del Parque Nacional Cascada de Basaseachi, que se encuentra tan sólo a cincuenta kilómetros (por aire) de la frontera con Sonora (Spellenberg *et al.*, 1996).

La flora de helechos de Arizona, con treinta géneros y 104 especies, es menos diversa que la de Sonora. Estas dos regiones comparten solamente 63 especies (62% de la flora total de helechos de Arizona y 46% de la flora de Sonora). La diferencia entre las dos floras se debe principalmente a la influencia del norte en la flora pteridofita de Arizona (especialmente en los géneros *Asplenium*, *Botrychium*, *Cystopteris* y *Woodsia*) y a que varias de las especies más tropicales tienen su límite norte de distribución al sur de la frontera internacional. Entre las especies compartidas se incluyen tanto especies del Desierto Sonorense como aquéllas con distribuciones de montaña relativamente amplias. En el futuro se espera detectar pocos helechos de Arizona en Sonora. Éstas principalmente son especies de montaña como *Adiantum aleuticum* (Rupr.) C.A. Paris, *Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm. y *Polypodium hesperium* Maxon, las que quizás se encuentren en la cordillera de la Sierra Madre Occidental. Adicionalmente, es posible que dos taxones, principalmente del Desierto Chihuahuense: *Argyrochosma limitanea* subsp. *mexicana* y *Notholaena neglecta*, se encontrarán en las áreas de caliza del noreste de Sonora. Asimismo, en el futuro es de esperar que pocos helechos de Sonora se encuentren en Arizona. Dos posibilidades son los taxones principalmente del Desierto Chihuahuense: *Astrolepis cochisensis* subsp. *chihuahuensis* y *Ar-*

gyrochosma fendleri, que con el tiempo quizás se documenten de la región más al sureste de Arizona.

ASPECTOS BIOGEOGRÁFICOS Y ECOLÓGICOS

La flora pteridofita de Sonora se caracteriza mejor como la de una zona cálida-templada. Muchos de los grupos obvios de helechos tropicales, como es el caso de los helechos encaje (Hymenophyllaceae) y los helechos arbóreos (Cyatheaceae, Dicksoniaceae), no se han registrado en el estado. Es notable que no existan las epifitas del tallo y del dosel y sólo una especie de helecho en Sonora (*Pleopeltis polylepis*), que regularmente es una epifita, aquí se encuentra más comúnmente sobre piedras.

La flora está especialmente influenciada por la sequía estacional. Las especies de humedales tienen una representación muy baja en la flora; los géneros como *Azolla*, *Equisetum* y *Plagiogyria* son escasos en el estado, otros como *Acrostichum* y *Pilularia* aún no se han colectado en Sonora.

Por otro lado, gran parte de la porción del Desierto Sonorense del estado no es tan árida como en algunos de los desiertos en otros continentes. Salvo por una pequeña porción al noroeste de Sonora y estados adyacentes que es extremadamente árida (precipitación media anual menor a diez centímetros), el clima del resto del Desierto Sonorense se clasifica simplemente como árido (McGinnies *et al.*, 1968). La mayoría de los otros desiertos del mundo tienen áreas extensas que son extremadamente áridas y brindan muy pocos microhábitats para albergar floras de helechos diversas. Por ejemplo, la flora de Libia (área casi diez veces ma-

yor que Sonora) incluye sólo quince especies de pteridofitas (El-Gadi y El-Taife, 1989) y su distribución está restringida a oasis, áreas costeras y otros lugares raros donde las condiciones son más húmedas que las promedio para el Desierto del Sahara. En general, los límites entre el Desierto Sonorense y las áreas circundantes en Sonora no son abruptos y la mayor parte de Sonora se puede caracterizar como una región bajo la fuerte influencia de un clima estacionalmente seco.

En la matriz de tipos de hábitats y microhábitats asociados, la mayor diversidad de pteridofitas en Sonora parece estar asociada con laderas rocosas en cañones, barrancos o sistemas de arroyos en altitudes medias. Casi todas las especies que en el estado se han registrado creciendo sobre piedras, también se han encontrado creciendo en el suelo. Aunque algunas especies se encuentran en alfombras musgosas en la superficie de acantilados y peñas, los helechos epipetricos más comunes tienen rizomas en grietas o debajo de las piedras, un ambiente que proporciona un microhábitat donde se protegen de los efectos desecantes del viento y del sol y también un sustrato que se seca algo más lento que el ambiente adyacente más expuesto. Cabe mencionar que la generación gametofítica de la mayoría de los helechos requiere microhábitats húmedos a fin de completar el ciclo de vida, incluso cuando el esporofito maduro puede resistir una mayor exposición a los elementos.

Existe una zonación vertical de especies en este hábitat de cañón-barranco-arroyo, aunque estos patrones no son claramente distintos y se traslapan bastante. Algunas especies son más comunes debajo de los mil doscientos metros de altitud y crecen en la selva baja caducifolia, mientras que otras se encuentran principalmente en altitudes arriba de los mil metros en bosques de encino y de pino-encino. Las especies del Desierto Sonorense generalmente ocurren debajo de los mil doscientos metros. Muchas también se desarrollan bien en afloramientos cerca del fondo de los cañones y en los márgenes de riachuelos donde la comunidad vegetal en general es un bosque ribereño.

Dada la ocurrencia relativamente restringida de

sustratos calcáreos, muy pocas de las pteridofitas de Sonora muestran fuertes preferencias de sustrato. Entre las calcífilas presentes están los taxones cheilanthoides *Argyrochosma fendleri*, *A. jonesii*, *Astrolepis cochisensis* (excepto subsp. *arizonica*), *A. integerrima*, y *Cheilanthes villosa*. Debido a la compleja geología de los sustratos ígneos y volcánicos de Sonora, poco se puede decir sobre la preferencia de sustratos entre la gran variedad de los tipos de lechos de roca más ácidos. Las observaciones de campo que sugieren que ciertos tipos de roca, por ejemplo la cuarcita, frecuentemente contienen una mayor diversidad de helechos que las áreas circundantes, quizás se deban más a características geomorfológicas y topográficas que a la bioquímica o mineralogía del sustrato.

En sentido geográfico, es difícil sacar conclusiones sobre la distribución de helechos en el estado. Como sucede con otras floras, los datos están muy sesgados por las diferentes intensidades de muestreo en varias partes de la región. Las áreas donde se han hecho inventarios florísticos detallados tienden a tener más especies documentadas que las áreas adyacentes donde se ha colectado poco. La figura 1 resume el número de especies que se han registrado en cada uno de los municipios de Sonora. Sólo 51 de los setenta municipios tienen algún registro de pteridofitas. Los que no tienen colectas de helechos están dispersos en varias partes del estado. Treinta y dos municipios tienen cinco o menos especies de helechos colectadas. Dos municipios destacan por tener considerablemente más registros de pteridofitas que los otros. Yécora (79 especies) y Álamos (78 especies) tienen cada uno casi cuatro veces el número de especies registradas para el siguiente municipio (Nogales, con 21 especies). La disparidad tan alta entre los números de Yécora y Álamos y las de los municipios intermedios (en el caso de Quiriego no existe ninguna colecta de helechos) es sin duda un artificio de la variación en la intensidad de muestreo más que un indicio real de la diversidad de helechos. La observación de que la mayor riqueza de especies de helechos parece ocurrir en el sureste de Sonora sugiere que inventarios más intensos en los municipios con

menos colectas de esta región tienen un buen potencial de nuevos descubrimientos.

CONSERVACIÓN

Es notable que todas o la mayoría de las pteridofitas de Sonora sean nativas a la región. Sólo dos especies son sin duda introducidas o tienen este potencial en la región. *Pteris cretica*, con amplia distribución y sobre la cual algunos botánicos han especulado que posiblemente fue introducida en el continente americano, es potencialmente no nativa en el estado, aunque se encuentra muy bien in-

tegrada en las comunidades vegetales naturales y no es invasor en los pocos sitios que se ha colectado. *Salvinia molesta*, una especie acuática nativa de Brasil y ampliamente invasora en los climas tropicales y cálidos-templados del mundo, recientemente se confirmó ocurriendo en el noroeste de Sonora. A finales de la década de 1990 esta maleza invasora se encontró en los canales agrícolas en el sureste de California que desembocan en el río Colorado. Desde entonces se ha establecido bastante bien en el río Colorado bajo y se ha dispersado hacia el sur en Baja California y Sonora.

La flora pteridofita de Sonora tiene muy pocos helechos endémicos y se cree que actualmente sólo

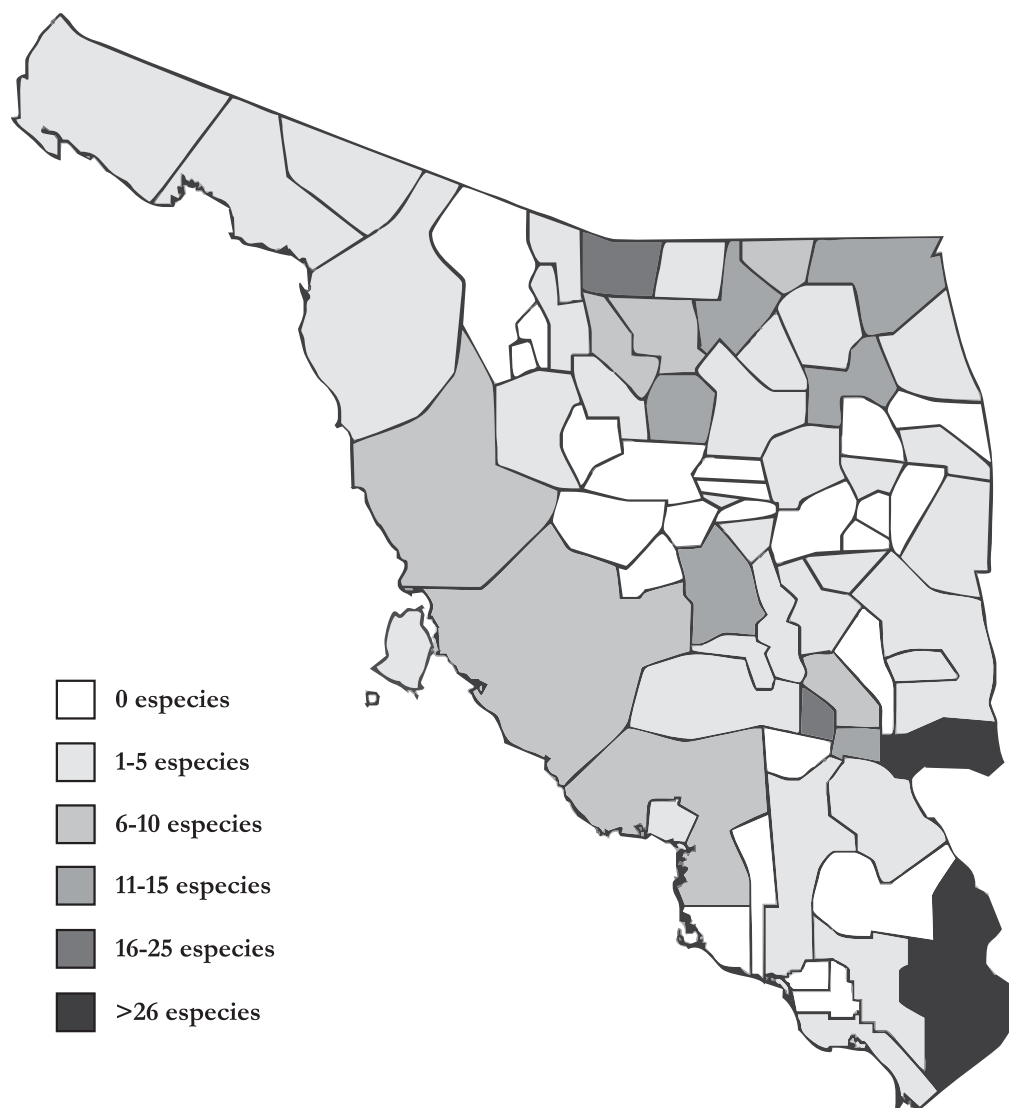


Figura 1. Número de especies de pteridofitas registradas para cada municipio en Sonora, basado en ca. 1 400 ejemplares consultados en varios herbarios.

dos especies están restringidas al estado. *Argyrochosma lumboltzii* se conoce sólo de dos ejemplares históricos sin datos precisos sobre la localidad y de una colecta moderna en la sierra San Antonio en el municipio de Cucurpe, donde se presume aún existe. La especie descrita recientemente *Cheilanthes yatskivyichiana*, hasta ahora sólo se conoce del ejemplar tipo, una colecta moderna de la sierra del Aliso cerca de San Javier. Del resto de los taxones de la pteridoflora de Sonora, se piensa que actualmente sólo cuatro están restringidos al noroeste de México: *Polypodium polypodioides* var. *knoblochianum*, *Polypodium praetermissum*, *Selaginella macrathera* y *Woodsia cystopteroides*. Otros diez taxones ocurren en el suroeste de Estados Unidos y en todo el norte de México y doce más en el suroeste de Estados Unidos y sólo en el noroeste de México. Además, la especie *Asplenium dalhousiae* es poco común en Arizona y el noroeste de México, pero presenta una distribución disyunta en Asia, en la región del Himalaya. La distribución bicontinental no es única a la flora de Sonora. *Asplenium exiguum* también ocurre en Asia y en América del Norte, pero tiene una distribución mucho más amplia en ambos continentes.

El resto de las pteridofitas tienen una distribución amplia en el norte y el centro de México u ocurren en todo México y a veces en otros países.

La evaluación del estatus de conservación de las especies de helechos raros de Sonora se dificulta por el escaso conocimiento de sus distribuciones. Las dos especies endémicas ocurren en las sierras al este de Sonora, donde se espera descubrir más poblaciones sonorenses en lugares remotos o muy poco colectados, así como en otras poblaciones de la región adyacente de Chihuahua.

La mayoría de los helechos sonorenses están enclavados en grietas rocosas. Muchas de estas especies tienen mal sabor o son venenosas para el ganado. Así, aparte de los efectos del pisoteo y la erosión, la mayoría de los helechos de Sonora no se ven afectados negativamente por el pastoreo. Otros impactos ambientales que pueden ser más dañinos a los helechos incluyen los incendios forestales, la disminución o elevación del nivel freático,

la tala del bosque en la parte alta de la sierra o de los ríos y la destrucción del hábitat por las actividades mineras o caleras. Paradójicamente, aunque la construcción de nuevos caminos facilita en gran medida las exploraciones biológicas en áreas remotas, el aumento de la población humana que acompaña a éstos también incrementa la presión en el ambiente adyacente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Richard Felger, Mark Fishbein, Michael Windham y George Ferguson por sus valiosas aportaciones y por compartir sus ejemplares. La cooperación del personal y curadores de las instituciones citadas también se agradece enormemente. En especial se agradece a los administradores de la base de datos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), quienes amablemente proporcionaron una tabla de registros de pteridofitas presentes en su Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB).

LITERATURA CITADA

- BEETLE, A.A., D.J. JOHNSON, A. NAVARRO y R. ALCA-RAZ. 1991. *Gramíneas de Sonora*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos, Hermosillo, Sonora, México.
- CRANFILL, R.B. 2001. *Phylogenetic Studies in the Polypodiales (Pteridophyta) with an Emphasis on the Family Blechnaceae*. Ph.D. dissertation. University of California, Berkeley.
- EATON, D.C. 1858. Acrogens. En: W.H. Emory. *Report on the United States and Mexican Boundary Survey: Made Under the Direction of the Secretary of the Interior*, vol. II, parte I (C.C. Parry, J. Torrey y G. Engelmann. Botany of the Boundary) Cornelius Wendel, Washington, D.C., pp. 233-236.
- EL-GADI, A.A. y A. EL-TAIFE, eds. 1989. *Flora of Libya: Pteridophytes*. Al Faateh University, Faculty of Science, Tripoli, Libia.
- FELGER, R.S. 1980. Vegetation and Flora of the Gran

- Desierto, Sonora, Mexico. *Desert Plants* 2: 87-114.
- FELGER, R.S. 1999. The Flora of Cañón de Nacapule: A Desert-Bounded Tropical Canyon Near Guaymas, Sonora, Mexico. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History* 35: 1-42.
- FELGER, R.S. 2000. *Flora of the Gran Desierto and Rio Colorado of Northwestern Mexico*. University of Arizona Press, Tucson.
- FELGER, R.S. y C.H. LOWE. 1976. The Island and Coastal Vegetation and Flora of the Northern Part of the Gulf of California. *Contributions in Science, Natural History Museum of Los Angeles* 285: 1-59.
- FISHBEIN, M., R. FELGER y F. GARZA. 1994. Another Jewel in the Crown: A Report on the Flora of the Sierra de Los Ajos, Sonora, Mexico. En: L.F. DeBano, P.F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre y C.B. Edminster, eds. *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico*. US Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, pp. 126-134.
- GENTRY, H.S. 1942. Rio Mayo Plants: A Study of the Flora and Vegetation of the Valley of the Rio Mayo, Sonora. *Carnegie Institution of Washington Publication* 527: I-VII, 1-328.
- KNOBLOCH, I.W. y D.S. CORRELL. 1962. *Ferns and Fern Allies of Chihuahua, Mexico*. Texas Research Foundation, Renner.
- KNOBLOCH, I.W. y D.S. CORRELL. 1978. Additions and Corrections to the Pteridophyte Flora of Chihuahua, Mexico. *American Fern Journal* 68: 11-12.
- KRAMER, K.U. 1990. Notes on the Higher Level Classification of the Recent Ferns. En: K. Kubitzki, ed. *The Families and Genera of Vascular Plants. Vol. 1. Pteridophytes and Gymnosperms* (K.U. Kramer y P.S. Green, vol. eds.) Springer-Verlag, Berlín, pp. 49-52.
- LUMHOLTZ, C. 1902. *Unknown Mexico: A Record of Five Years' Exploration among the Tribes of the Western Sierra Madre; in the Tierra Caliente of Tepic and Jalisco; and among the Tarascos of Michoacan*. Charles Scribner's Sons, Nueva York.
- LUMPKIN, T.A. 1993. Azollaceae Wettstein. En: Flora of North America Editorial Committee, eds. *Flora of North America, North of Mexico. Vol. 2. Pteridophytes and Gymnosperms*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 338-342.
- MCGINNIES, W.G., B.J. GOLDMAN y P. PAYLORE, eds. 1968. *Deserts of the World: An Appraisal of Research into their Physical and Biological Environments*. University of Arizona Press, Tucson.
- MCVAUGH, R. 1956. *Edward Palmer, Plant Explorer of the American West*. University of Oklahoma Press, Norman.
- MICKEL, J. y A.R. SMITH. 2004. The Pteridophytes of Mexico. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 88: 1-1054.
- SHREVE, F. y I.A. WIGGINS. 1964. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, California.
- SMITH, A.R., K.M. PRYER, E. SCHUETTPELZ, P. KORALL, H. SCHNEIDER y P.G. WOLF. 2006. A Classification for Extant Ferns. *Taxon* 55: 705-731.
- SPELLENBERG, R.S., T. LEBGUE y R. CORRAL-D. 1996. *A Specimen-Based, Annotated Checklist of the Plants of Parque Nacional «Cascada de Basaseachic» and Immediately Adjacent Areas, southwestern Chihuahua, México, XIII*. Listados Florísticas de México, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- STEINMANN, V.W. y R.S. FELGER. The Euphorbiaceae of Sonora, Mexico. *Aliso* 16: 1-71.
- TEJERO, J.D. y J.T. MICKEL. 2004. Pteridofitas. En: A.J. García, M.J. Ordóñez y M. Briones, eds. *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 121-139.
- TRYON, R.M. y A.F. TRYON. 1982. *Ferns and Allied Plants, with Special Reference to Tropical America*. Springer-Verlag, Nueva York.
- WHITE, S.S. 1948. The Vegetation and Flora of the Region of the Río de Bavispe in Northeastern Sonora, Mexico. *Lloydia* 11: 229-302.
- WHITEHEAD, J. 1937. Some Arizona Ferns Collected in Sonora, Mexico. *American Fern Journal* 27: 43-51.
- WIGGINS, I.L. 1943. Collecting Ferns in Northwestern Mexico. *American Fern Journal* 34: 37-49.
- WIGGINS, I.L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press, California.
- YATSKIEVYCH, G. y J. PIPER. 1998. Pteridophyta (12 families). En: P.S. Martin, D. Yetman, M. Fishbein, P. Jenkins, T.R. Van Devender y R.K. Wilson, eds. *Gentry's Rio Mayo Plants, the Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwestern Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, pp. 178-191.
- YATSKIEVYCH, G. y P. FISCHER. 1983. New Plant Records from the Sonoran Desert. *Desert Plants* 5: 180-185.

BIODIVERSIDAD DE LAS PLANTAS VASCULARES

THOMAS R. VAN DEVENDER,¹ RICHARD S. FELGER,² MARK FISHBEIN,³ FRANCISCO E. MOLINA-FREANER,⁴
J. JESÚS SÁNCHEZ-ESCALANTE⁵ Y ANA LILIA REINA-GUERRERO²

RESUMEN. La flora del estado de Sonora, con un área de 184 934 km², actualmente tiene 3 659 taxones específicos e intraespecíficos en 188 familias y 1 107 géneros, documentada con ejemplares de herbario. Las 3 483 especies (3 237 nativas) incluyen 104 variedades, 43 subespecies y 30 híbridos entre especies. Únicamente 78 taxones (68 especies, 8 sub-especies y 2 variedades en 26 familias) son endémicos del territorio (sin islas) de Sonora. Las familias con el mayor número de taxones endémicos son Cactaceae (13), Asteraceae (12) y Agavaceae (11, 9 *Agave*). El endemismo es bajo (2.3% de las 3 413 taxones nativos) debido a que Sonora es una unidad política en donde las comunidades bióticas y muchas cuasiendémicas se extienden a los estados adyacentes o a las islas en el Golfo de California.

La diversidad de plantas de Sonora refleja la mezcla de grandes provincias biogeográficas. Los trópicos del Nuevo Mundo alcanzan su límite septentrional en Norteamérica en el este de Sonora. Muchas especies tropicales con amplia distribución alcanzan su límite norte cerca de Álamos en el sur de Sonora, en la selva baja caducifolia, la cual se extiende hasta los 28° 35' N en la sierra San Javier. El matorral espinoso de piedemonte (MEP) se extiende hasta los 30° 30' N en la cuenca hidrográfica del río Bavispe, donde la distribución de algunas plantas y animales tropicales se extiende hacia el norte en los afluentes del norte del río Yaqui en el sureste de Arizona. Otras especies tropicales alcanzan su límite norte en la transición del matorral espinoso costero al Desierto Sonorense cerca de Guaymas (ca. 28° N) o en poblaciones aisladas en cañones o cumbrones de sierras en el desierto. Muchas plantas alcanzan sus límites occidentales en la transición MEP-Desierto

Sonorense en el este de Sonora y en los bosques de montaña de la Sierra Madre Occidental (SMO) en el este del estado. Varias plantas alcanzan sus límites más al sur en Sonora, entre las que se incluyen especies de zonas templadas en las serranías aisladas conocidas como islas serranas (en inglés *sky islands*) en el noreste y en la SMO en el este, y las especies del Desierto Sonorense en matorral espinoso en la planicie costera del sur de Sonora. Algunas plantas de pastizal desértico y de matorral desértico del Desierto Chihuahuense alcanzan tanto sus límites meridional y occidental en la parte noreste y norte-centro de Sonora.

Un total de 58 especies de plantas de Sonora están protegidas legalmente por el gobierno mexicano en la NOM-059-ECOL-2001 (NOM, 2002) como E (probablemente extinta), P (en peligro de extinción), A (amenazada) y Pr (sujeta a protección especial). Esta lista necesita revisarse debido a que: 1. Información nueva indica que algunas especies son más comunes, tienen distribución más amplia o no están tan amenazadas como se pensaba. 2. Las variedades de algunas especies tienen requerimientos de conservación diferente. 3. Los nombres taxonómicos necesitan actualizarse. 4. Algunas especies enlistadas como Pr no son raras o amenazadas pero necesitan manejarse como recurso natural y reglamentarse bajo una ley diferente. 5. Varias plantas regionales, entre las que se incluye 69 taxones endémicos al territorio continental de Sonora, las endémicas de las islas del Golfo de California y otras 27 plantas que están protegidas en Arizona deben evaluarse como candidatas para agregarse a la lista de la NOM.

La mayor parte de Sonora tiene grandes áreas con hábitat natural, parte del cual está protegido en extensas reservas. La pérdida de la biodiversidad natural por las perturbaciones y alteraciones a las comunidades bióticas naturales está aumentando en todo el estado conforme se incrementa la población humana y la urbanización se extiende. Los grandes centros de desa-

¹ Sky Island Alliance.

² University of Arizona.

³ Oklahoma State University.

⁴ Universidad Nacional Autónoma de México.

⁵ Universidad de Sonora.

rollo urbano se localizan en las zonas bajas de la parte central y occidental del estado. La región serrana de mayor altitud de la porción este del estado está menos poblada, pero la tala generalizada y las operaciones mineras han impactado los bosques tropicales y de montaña. El uso de leguminosas como mezquite (*Prosopis*) y palo fierro (*Olneya*) para producir carbón y el tallado de figuras de madera y la explotación de encinos (*Quercus*) para la producción de papel y carbón, representan usos no sustentables de especies importantes. El desmonte del matorral espinoso para la agricultura de gran escala y la construcción de granjas camarónicas en los estuarios ha impactado dramáticamente las áreas costeras con alta riqueza biológica. Los desarrollos turísticos en las playas del Golfo de California y la construcción de la nueva carretera costera acelerarán el desarrollo costero y, en consecuencia, la pérdida del hábitat.

La flora de Sonora tiene relativamente pocas especies no nativas (246 taxones, 6.7% de la flora). La mayoría son de las familias Poaceae (68 taxones), Brassicaceae (19 taxones), Fabaceae (15 taxones) y Asteraceae (14 taxones) y en su mayoría son hierbas (83.1%), especialmente anuales (140 taxones). La mayoría de estas especies (75.1%) son de Eurasia y África y las menos (67 taxones) provienen del Nuevo Mundo, desde México a América del Sur. Sólo 15% de las especies no nativas (37 taxones) se consideran invasoras con potencial para dañar los hábitats naturales. Las especies invasoras más preocupantes son la mostaza del Sahara (*Brassica tournefortii*), los zacates mediterráneo y árabe (*Schismus arabicus*, *S. barbatus*) en el noroeste del Desierto Sonorense, el zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) en el matorral desértico del centro, la costa y norte de Sonora, el matorral espinoso de piedemonte en la región este-centro y sur del estado y el zacate africano (*Eragrostis lehmanniana*) y el zacate rosado (*Melinis repens*) en el pastizal desértico del este y norte del estado.

Creemos que cada día es más urgente la conservación y manejo de áreas naturales protegidas, la protección de especies raras y amenazadas, la vigilancia y control de especies exóticas e invasoras y una educación ambiental de calidad conforme la población humana sigue creciendo y aumenta la urbanización y la destrucción de hábitats.

ABSTRACT. The flora of the state of Sonora with an area of 184 934 km² presently includes 3 659 specific and infraspecific taxa documented by herbarium spec-

imens, 188 families, and 1 107 genera. In the 3 483 species (3 237 native), there are 104 additional varieties, 43 additional subspecies, and 30 hybrids between species. Only 78 taxa (68 species, 8 subspecies, and 2 varieties in 26 families) are endemic to mainland Sonora. Families with the largest numbers of endemic taxa are the Cactaceae (13), Asteraceae (12), and Agavaceae (11, 9 *Agave*). Endemism is low (2.3% of the 3 413 native taxa) because Sonora is a political unit, and most biotic communities and many quasi-endemics extend into adjacent states or onto islands in the Gulf of California.

The plant diversity of Sonora reflects the intermingling of major biogeographic provinces. The New World tropics reaches its northernmost limit in North America in eastern Sonora. Many widespread tropical species reach their northern limits near Álamos in southern Sonora in tropical deciduous forest, which extends to 28° 35' N in the Sierra San Javier. Foothills thornscrub (FTS) extends to 30° 30' N in the Rio Bavispe drainage, with some tropical plants and animals following the northern tributaries of the Río Yaqui into southeastern Arizona. Other tropical species reach their northern limits in the coastal thornscrub-Sonoran Desert transition near Guaymas (ca. 28° N) or in isolated populations in canyons and on mountaintops within the desert. Many plants reach their western limits in the FTS-Sonoran Desert transition in east-central Sonora and in montane forests in the Sierra Madre Occidental (SMO) in eastern Sonora. Many plants reach their southern limits in Sonora including temperate species in the isolated sky island mountains in the northeast and the SMO in the east, and Sonoran Desert species in thornscrub on the coastal plain in southern Sonora. Desert grassland and Chihuahuan desertscrub plants are reaching both their southern and western range limits in northeastern and north-central Sonora.

A total of 58 Sonoran plants are legally protected by the Mexican government in the NOM-059-ECOL-2001 (NOM, 2002) as E (extinta, extinct), P (en peligro, in danger of extinction), A (Amenazada, threatened), and Pr (protección, special protection). The list needs revision because: 1. New information indicates species are more common, more widespread, or not as threatened as previously thought. 2. The varieties of species have different conservation needs. 3. Taxonomic names need to be updated. 4. Some Pr species are not rare or threatened, but need to be managed as resources and regulated under different legislation. 5. Many regional plants,

including 69 taxa endemic to mainland Sonora, endemics on islands in the Gulf of California, and 27 additional plants that are protected in Arizona, should be evaluated as candidates for addition to NOM list.

Much of Sonora has large areas of natural habitat, some of which are protected in vast reserves. The losses of natural biodiversity through disturbance and disruption of natural biotic communities are increasing statewide as human population grows and developments expand. Major urban developments are in the low-elevation central and western part of the state. The mountainous, higher-elevation eastern part of the state is less populated, but widespread logging and local mining operations have impacted tropical and montane forests. Harvesting of hardwood legumes such as mesquite (*Prosopis*) and ironwood (*Olneya*) for charcoal and woodcarvings and oaks (*Quercus*) for paper and charcoal production are non-sustainable uses of important species. Clearing of thornscrub for large-scale agriculture and construction of shrimp farms in estuaries have dramatically impacted biologically rich coastal areas. Beachfront developments along the Gulf of California and the construction of a new coastal highway will accelerate developments along the coast and loss of habitat.

The flora of Sonora has relatively few non-native species (246 taxa 6.7% of the flora). They are mostly in the Poaceae (68 taxa), Brassicaceae (19 taxa), Fabaceae (15 taxa), and Asteraceae (14 taxa), and mostly herbs (83.1%), especially annuals (140 taxa). Most species (75.1%) are from Eurasia and Africa with fewer (67 taxa) from the New World from Mexico to South America. Only fifteen per cent of the non-native species (37 taxa) are considered invasive with potential to harm natural habitats. The most serious invasive species are Sahara mustard (*Brassica tournefortii*) and Mediterranean and Arabian grasses (*Schismus arabicus*, *S. barbatus*) in the northwestern Sonoran Desert; buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) in desertscrub in central, coastal, and northern Sonora and foothills thornscrub in east-central and southern Sonora; and Lehman lovegrass/zacate africano (*Eragrostis lehmanniana*) and Natalgrass/zacate rosado (*Melinis repens*) in desert grassland in eastern and northern Sonora.

The needs for conservation through land protection and management in natural areas, protection of rare and threatened species, monitoring and control of non-native and invasive species, and improved environmental education will become more urgent as the

human population continues to grow, and related developments and habitat destruction increase.

INTRODUCCIÓN

Sonora se localiza en el noroeste de México y, con un área de 184 934 km², es el segundo estado más grande del país. La porción sonorensis de la frontera internacional México-Estados Unidos tiene una longitud de 588 km; de éstos, 568 km se comparten con Arizona y veinte con Nuevo México. El estado posee uno de los paisajes de vegetación más diversos del noroeste del país, así como una flora abundante y distintiva. Esto es un reflejo de la gran diversidad de hábitats y la complejidad de los climas locales y regionales que han resultado en una compleja evolución de la biota y el paisaje. Existen más de veinte comunidades bióticas en el estado (Felger y Lowe, 1976; Martin *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, en este vol.). Actualmente los trópicos del Nuevo Mundo alcanzan sus límites septentrionales en el este de Sonora, con la selva baja caducifolia (SBC) extendiéndose hasta los 28° 35' N cerca de San Javier, mientras que el matorral espinoso de piedemonte llega a los 30° 30' N en el río Bavispe al este de la sierra El Tigre (White, 1948; Brown y Lowe, 1980; Felger *et al.*, 2001). En el sur de Sonora, algunas especies muy tropicales alcanzan sus límites septentrionales en la SBC₂ en la sierra de Álamos y en áreas pequeñas y aisladas de selva baja semidecídua en el arroyo Verde y Choquincahui. En el noreste de Sonora, algunas plantas y animales tropicales se extienden hacia el norte siguiendo ramificaciones a lo largo de los tributarios norteños del río Yaqui hacia el sureste de Arizona (Van Devender *et al.*, 1994b; Felger, 2001). La explicación de por qué el límite norte de las especies tropicales termina en pastizales desérticos y bosques de encinos en altitudes de 1 220-1 525 metros, se debe a que las especies tropicales están limitadas en las zonas altas por las heladas y en las zonas bajas por la aridez. Ejemplos de esto incluyen al chilicote (*Erythrina flabelliformis*) y la culebra bejuquilla (*Oxybelis aeneus*).

La Sierra Madre Occidental (SMO) en el occidente de México se extiende desde Zacatecas y Jalisco hacia el norte en Chihuahua y Sonora. El Archipiélago Madreño es un grupo de cordilleras de islas serranas aisladas (véanse notas más abajo) con cumbres de encinales y bosques de pino-encino que ocurren entre la SMO y el Mogollón Rim del Centro de Arizona y el margen suroeste de las Montañas Rocallosas (Marshall, 1957; Felger y Wilson, 1995; Warshall, 1995). Estas floras de montaña son una mezcla de especies de zonas templadas que se encuentran a lo largo de la SMO hacia el sur y otras más típicas de las Montañas Rocallosas en el norte. Las floras de las islas serranas se diferencian de las floras de las islas oceánicas por tener una alta diversidad de especies, un endemismo local y regional bajo y porcentajes bajos de especies no nativas (McLaughlin, 1995). Sin embargo, la flora de la Sierra Madre Occidental en el este de Sonora y oeste de Chihuahua es mucho más diversa que cualquier área del Archipiélago Madreño.

Rzedowski (1978) consideró que la diversidad florística más alta de México se encuentra en el bosque de pino-encino. Los inventarios florísticos del Municipio de Yécora al este de Sonora lo confirman, ya que el número de especies se incrementa con la altitud desde el matorral espinoso de piedemonte y la SBC en las tierras bajas hasta los encinales y bosques de pino-encino de las tierras altas (Van Devender *et al.*, 2005; Van Devender y Reina-Guerrero, datos sin publ.). En la zona fronteriza del noreste de Sonora los pastizales del centro de Norteamérica alcanzan sus límites sur occidentales. Al igual que en la mayor parte del occidente de Texas, la vegetación es un mosaico de pastizal desértico en suelos profundos de los valles y matorral del desierto Chihuahuense en laderas de calizas rocosas.

El Desierto Sonorense ocupa las porciones centro y noroeste de Sonora. En el límite sur del Desierto Sonorense cerca de Guaymas y el límite este en el centro de Sonora hay una amplia transición al matorral espinoso. El matorral espinoso está presente en las sierras y cañones protegidos dentro del desierto hasta el norte de Hermosillo (Felger, 1999). La subdivisión del Desierto Sonorense co-

nocida como Costa Central del Golfo, ocurre en ambos lados del Golfo de California con muchas especies en común (Shreve, 1964). Las plantas típicas de Baja California en la costa sonoreña son relictos de la Edad de Hielo. Los interglaciares más calientes y más secos como el presente Holoceno dieron como resultado contracciones repetidas de los rangos de distribución de estas plantas en poblaciones más pequeñas y aisladas, sitios ideales para la especiación. Las floras del enorme escudo volcánico del Pinacate y las dunas de arena del Gran Desierto en el noroeste de Sonora no son muy diversas, pero son únicas, y reflejan las afinidades y conexiones con las áreas extremadamente áridas de Baja California, Arizona y California (Felger, 2000).

Aunque Sonora es más conocida como una región árida y semiárida cuenta con una variedad de hábitats de humedales. El área ribereña más extensa se encuentra a lo largo del río Colorado y su delta (Felger, 2000). Existen otros tipos de humedales en el noroeste de Sonora como son los oasis (Quitovac, Quitobaquito), el río Sonoyta y esteros costeros salobres y pozos de agua dulce en la bahía de Adair a lo largo del Golfo de California (Felger, 2000). Varios ríos, entre los que se incluyen el Magdalena (Asunción), el San Miguel y el Sonora, en la parte central del estado, desembocan en el Golfo. Los ríos más grandes del estado son el Yaqui y el Mayo, los cuales tienen enormes cuencas hidrológicas que incluyen el tercio oriental del estado y la parte adyacente del sureste de Arizona y el oeste de Chihuahua. El río Cuchujaqui y el arroyo El Cobre, cerca de Álamos, son afluentes del río Fuerte, donde desagua la mayor parte del norte de Sinaloa. En el noreste de Sonora se cuenta con ciénegas importantes, como la de Saracachi al este de Cucurpe y Agua Caliente al este de Esqueda.

El tipo de vegetación en estos humedales es diferente al de las comunidades vegetales adyacentes. Los humedales costeros a lo largo del Golfo de California incluyen extensas comunidades de halófitas en las planicies y orillas de los esteros (Friedman, 1996; Martin *et al.*, 1998; Felger, 2000). Las comunidades de manglar están bien desarrolladas en el sur de Sonora y áreas más pequeñas están

presentes tan al norte como Puerto Lobos, al norte de Puerto Libertad. La vegetación ribereña forma franjas lineales a lo largo de ríos y en cañones que pasan por las comunidades más altas. Se tiene registro que históricamente los bosques de galería con enormes álamos del norte (*Populus deltoides* var. *fremontii*) se encontraban a lo largo del río Colorado (Felger, 2000). Los bosques ribereños o de galería con álamos, sauces (*Salix bonplandiana*, *S. gooddingii*), alisos (*Platanus wrightii*), fresnos (*Fraxinus velutina*) y nogales (*Juglans major*) son importantes hábitats para la vida silvestre a lo largo de ríos y riachuelos desde el noreste de Sonora hasta el centro del estado, de los cuales Cajón Bonito en el noreste del estado es un excelente ejemplo. De estos árboles ribereños sólo los sauces se localizan en el sur de Sonora, donde se encuentran asociados con guásima (*Guazuma ulmifolia*), sabino (*Taxodium distichum* var. *mexicanum*), álamo (*Populus mexicana* var. *dimorpha*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), arbolío (*Sapinus saponaria*) y uvalama (*Vitex mollis*) en bosques ribereños tropicales (Martin *et al.*, 1998). La Ciénega de Camilo al este de Maycoba en la Sierra Madre contiene la única turbera con el musgo sphagnum (*Sphagnum palustre*) en el estado (Van Devender *et al.*, 2003).

Hay por lo menos cuatro mil especies de plantas vasculares en el estado de Sonora en el noroeste de México. Las plantas vasculares comprenden los helechos y sus afines, las gimnospermas, incluyendo las cícadas, ephedras y coníferas, así como las angiospermas o plantas con flores. En este capítulo hacemos una síntesis sobre las plantas vasculares conocidas de la porción continental del estado de Sonora y analizamos su biodiversidad, biogeografía y conservación.

HISTORIA DE LAS ACTIVIDADES BOTÁNICAS

Son mínimos los textos sobre Sonora de la época colonial española que incluyen historia natural [*v.g.* Kino (Burrus, 1954 y 1971; Felger, 2007); Nentvig (1764) 1971; Pfefferkorn, 1949)]. La primera colección botánica de Sonora se hizo durante la ex-

pedición de Sessé y Moçño al noroeste de México (1790-1793; Maldonado y Puig-Samper, 2000). Parte de la expedición encabezada por Moçño, Castillo y Echeverría colectó ejemplares e hizo ilustraciones de las plantas de las inmediaciones de Álamos en el sur de Sonora en 1791 (Maldonado y Puig-Samper, 2000). Los ejemplares de *Jatropha cinerea* y *J. cordata* en el Herbario de Sessé y Moçño en Madrid y la ilustración de *J. cordata* de la colección de Torner probablemente son de Sonora (McVaugh, 2000).

Después de la expedición de Sessé y Moçño, la mayor parte de la exploración botánica en Sonora hasta casi mediados del siglo xx fue hecha por naturalistas de Estados Unidos y Europa, aunque unos cuantos botánicos de instituciones del centro de México se aventuraron más de 1 225 km hacia el noroeste. A continuación resaltamos algunos de los más notables colectores botánicos de Sonora.

Thomas Coulter (1793-1843), un botánico irlandés, pasó varios meses (1829-1830) en Hermosillo asociado con una compañía minera y colectó varios ejemplares de Sonora (Coville, 1895). Trece plantas sonorenses llevan su nombre, las que incluyen *Brickellia coulteri*, *Clerodendron coulteri*, *Echinopepon coulteri*, *Guaiacum coulteri* e *Hibiscus coulteri*.

Los botánicos participantes en el primer inventario para el Deslinde Fronterizo México-Estados Unidos de 1848 (John M. Bigelow, Charles C. Parry, Arthur C.V. Schott, Edmund K. Smith, George Thurber y Charles Wright) colectaron muchos ejemplares a lo largo de la frontera Sonora-Arizona (Emory, 1857-1859). Los ejemplares fueron enviados a eminentes botánicos como John Torrey, Asa Gray y George Engelmann, lo cual resultó en la descripción de muchas especies nuevas. Numerosas plantas llevan los nombres de estos colectores, incluyendo *Nolina bigelovii*, *Penstemon parryi*, *Lophocereus schottii*, *Anisacanthus thurberi*, *Garrya wrightii* y el género *Carlwrightia*.

El botánico más importante del siglo xix en Sonora fue Edward Palmer (1831-1911), un intrépido colector de plantas, de material etnográfico y de ejemplares zoológicos (McVaugh, 1956).

En esos tiempos los botánicos de campo como Palmer se financiaban ellos mismos por medio de la venta de series de ejemplares. En 1869, 1870, 1884, 1885, 1887, 1889, 1890-1892 y 1897, Palmer colectó miles de ejemplares de herbario en las regiones de Álamos, de Guaymas y del Delta del río Colorado, entre otras. Palmer llegó a Sonora en barco y después viajó en diligencia, carreta, lancha, mula o caballo o a pie y años más tarde por tren. Sus colectas fueron enviadas a botánicos académicos de los más importantes herbarios, así como a botánicos independientes o aficionados acaudalados de Norteamérica y Europa (McVaugh, 1956). Palmer colectó series grandes (lo que hoy llamaríamos duplicados), algunas veces diez o más de cada número de catálogo. Algunas veces Palmer no tenía cuidado con sus registros y el envío de ejemplares. Además, los expertos que trabajaban con sus colectas, con frecuencia asignaban los números de los ejemplares y agregaban las etiquetas hechas por los archivistas, lo que en algunas ocasiones causó mucha confusión. Numerosas plantas han sido nombradas en honor de Palmer, las que incluyen cincuenta de Sonora actualmente aceptadas, *v.g.*, *Amaranthus palmeri*, *Cnidoscolus palmeri*, *Distichlis palmeri*, *Lippia palmeri* y *Pseudobombax palmeri*. Sus colectas y notas fueron la base de muchos estudios florísticos en la región (*v.g.*, Vasey y Rose, 1890; Watson 1889; Rose, 1895).

Algunas de las colectas de Palmer fueron estudiadas por Joseph N. Rose en el U.S. National Herbarium (US) en Washington, D.C. Rose también hizo colectas propias, la mayoría de las inmediaciones de Guaymas y el sur de Sonora, en 1897, 1910 y 1921 (Rose, 1911; Johnston, 1924). Cinco especies y cuatro variedades de plantas de Sonora han sido nombradas en honor de Rose, entre las que se incluyen *Gouania rosei*, *Hoffmannia rosei* y *Zapoteca formosa* subsp. *rosei*. Él describió muchos taxones nuevos, los que incluyen por lo menos ciento diez especies, cinco variedades, tres subespecies y una forma en el estado.

Otro intrépido colector de finales del siglo XIX fue Cyrus Pringle del estado de Vermont. Durante su vida llegó a coleccionar como quinientos mil ejem-

plares de cerca de veinte mil especies (Burns, 1936), aunque sólo una pequeña fracción fue de Sonora. En 1884 Pringle colectó el ejemplar tipo del gran cardón o sahueso sonorense, *Cereus pringlei* (actualmente *Pachycereus pringlei*) en los cerros «al sur del río Altar» (Watson, 1885). Hoy en día veinticuatro especies, dos variedades y una subespecie de plantas de Sonora llevan su nombre.

Los botánicos Carl V. Hartman y Francis E. Lloyd acompañaron al explorador noruego Carl S. Lumholtz (1851-1922) en su expedición antropológica y geográfica de México de 1890-1893 desde Bisbee, Arizona, hacia el sur y el este para entrar a la Sierra Madre Occidental (Lumholtz, 1902). Ellos colectaron más de mil ejemplares numerados (sin incluir duplicados) del noreste de Sonora y noroeste de Chihuahua. Cinco plantas de Sonora han sido nombradas en honor de Lumholtz, las que incluyen *Pinus lumholtzii*, *Sedum lumholtzii* y *Solanum lumholtzianum*.

Edgar A. Mearns (1856-1916) era el médico del segundo inventario para el Deslinde Fronterizo México-Estados Unidos desde el Golfo de México al Océano Pacífico de 1892-1894. Él describió los aspectos generales de la vegetación, flora y fauna a lo largo de la frontera entre Sonora y Arizona (Mearns, 1907; también véase Hitchcock, 1913). Aunque era un zoólogo, Mearns hizo numerosas colectas de plantas. Mucha información detallada sobre las localidades se encuentra en sus libretas de campo y catálogos en el U.S. National Herbarium del Smithsonian Institution. Éste fue el primer trabajo biológico de carácter científico y verdaderamente extensivo en la frontera México-Estados Unidos; la colección botánica merece un estudio adicional.

Para 1900 los medios de transporte estaban mejorando en Sonora y la población aumentando. El ferrocarril conectaba a Guaymas y Hermosillo y a una cadena de pueblos mineros como Cananea, Nacozari, Tónichi y La Dura, entre otros. Éste era el comienzo de la era moderna y los botánicos empezaron a ir al campo a hacer sus propias colectas. Los agrostólogos (especialistas de la taxonomía de zacates) del Smithsonian Institution Albert S. Hi-

tchcock (1865-1935) y Agnes Chase (1869-1963) visitaron Sonora en 1908 y 1910 (Hitchcock, 1913). Algunas de sus colectas de zacates a orillas de canales de riego y áreas de inundación del río Sonora en Hermosillo y en el área de Guaymas aparentemente ya no se encuentran en la región.

El tratado de zacates del Desierto Sonorense de Jason R. Swallen (1903-1991) se basó en ejemplares de herbario, incluyendo los de Forrest Shreve e Ira L. Wiggins, así como en literatura publicada. Aunque se terminó antes de que Estados Unidos entrara en la Segunda Guerra Mundial en 1941, fue publicado en la *Flora of the Sonoran Desert* por Wiggins (1964). Comenzando a finales del siglo XIX, el apoyo financiero para el estudio de zacates en México y Estados Unidos estaba ligado a la importancia de la industria ganadera. Después de mediados del siglo XX, Alan A. Beetle (1913-2003) y sus colegas de la sucursal Sonora de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero (Cotecoca) se dedicaron intensamente al estudio de zacates, de lo que resultó la publicación *Gramíneas de Sonora* (Beetle *et al.*, 1991). Al tiempo de este escrito, la irremplazable colección sonorenses de plantas del herbario Cotecoca en Hermosillo se encontraba abandonada y en peligro inminente de destrucción. El trabajo de Cotecoca y de John y Charlotte Reeder, Richard Felger y Thomas R. Van Devender, entre otros, elevó el conocimiento sobre los zacates de Sonora a un nuevo nivel.

Los cactus de Sonora han atraído un enorme interés entre los botánicos desde los primeros registros escritos, con innumerables artículos académicos y para aficionados en revistas científicas tan variadas como *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* y *Cactus and Succulent Journal* (EE. UU.), entre otras docenas más de diferentes partes del mundo. Coulter envió 58 especies de cactus vivos a Agustín P. de Candolle en Ginebra en 1828 y después setenta especies a James T. MacKay en Trinity College en Dublín (Coville, 1995). De Candolle describió 47 de los ejemplares de Coulter como especies nuevas. En la década de 1850, los hermanos Potts (John era el gerente de la casa de la moneda de Ciudad Chihuahua, Frederick un ingeniero mine-

ro) enviaron cactus vivos al Royal Botanic Garden (KEW) en Londres. Muchos de éstos fueron enviados a Joseph Salm-Dyck en Austria, un botánico y horticultor aficionado y el principal cactólogo de su tiempo. Él describió a *Cereus scheeri* (actualmente *Echinocereus scheeri*) y *Ferocactus pottsii*, comunes en el sur de Sonora. Numerosos botánicos hicieron contribuciones importantes para el conocimiento de los cactus de Sonora, entre ellos: León Diguët (1928), Nathaniel Lord Britton y Joseph N. Rose (1919-1923), Robert T. Craig (1945), Helia Bravo-Hollis y colegas (Bravo-Hollis, 1978; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada 1991a y 1991b), Rafaela Paredes-Aguilar *et al.* (2000), Felger y Alan Zimmerman (2000), Donald Pinkava y sus estudiantes (Parfitt y Gibson, 2003; Pinkava, 2003) y David Yetman (2006 y 2007). El estudio de los cactus de Sonora se ha visto limitado por la dificultad para preparar ejemplares adecuados de herbario de estas plantas suculentas espinosas y las restricciones para exportarlos a herbarios regionales en Estados Unidos bajo el acuerdo internacional del Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies de Fauna y Flora Silvestre Amenazadas (CITES, por sus siglas del inglés *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*). La creación del Herbario de la Universidad de Sonora (USON) en Hermosillo y el uso de imágenes digitales como ejemplares de herbario han facilitado la documentación de este grupo.

Varias expediciones realizadas a principios del siglo XX produjeron colectas de herbario de regiones selectas del estado. Daniel T. MacDougal (1865-1958) y Glenton Sykes (1861-1948) del Desert Laboratory of the Carnegie Institution en Tucson fueron los botánicos de la expedición del Carnegie a la región del Pinacate en 1907 (Hornaday, 1908). Ellos hicieron la primera colecta extensa de plantas del Desierto Sonorense en el noroeste de Sonora (Rose y Standley, 1912; Felger, 2000). Carl Lumholtz colectó un número limitado de ejemplares de herbario en la región del Pinacate durante su exploración de 1909-1910 (Lumholtz, 1912).

Marcus E. Jones (1852-1934) fue un colector

excepcional que hizo contribuciones muy importantes a la botánica del occidente americano (Lenz, 1986). Sus viajes de colecta a México incluyeron unos cuantos a Sonora, principalmente de Nogales a Guaymas en 1926 y 1927. En la flora documentada de Sonora, tres plantas llevan su nombre (*Argyrochosma jonesii*, *Linanthus jonesii* y *Tragia jonesii*); describió catorce especies, diez variedades y una forma.

Aunque los caminos de Sonora y casi toda la región estaban sin pavimentar antes de la Segunda Guerra Mundial, los automóviles altos o de doble tracción y el final de la Revolución Mexicana facilitaron el acceso a territorio sin exploración botánica. Ira L. Wiggins (1899-1987) realizó 33 viajes de colecta al estado de Sonora desde 1932 a 1963. Se hacía acompañar por otros botánicos, en particular por Forrest Shreve (1878-1950) y Reed C. Rollins (1911-1998). Forrest Shreve igualmente colectó bastante en la entidad desde la década de 1920 a la de 1940 (Bowers, 1988). Las cerca de ochocientas cincuenta plantas vasculares que Shreve y Wiggins registraron para la región desértica de Sonora fueron incorporadas en la *Flora of the Sonoran Desert* (Wiggins, 1964), que sigue siendo el trabajo florístico más valioso de la región. De la flora de Sonora, tres taxones han sido nombrados en honor de Shreve y dos en el de Wiggins, quien es autor de 19 taxones de Sonora.

Howard Scott Gentry (1903-1993) destaca como el botánico moderno y colector de plantas más importante de Sonora en el siglo xx. Desde 1933 a 1939 exploró la región del río Mayo en el sur de Sonora y la parte adyacente de Chihuahua y en 1942 publicó su libro *Rio Mayo Plants* (Gentry, 1942). Comenzando en la década de 1970, un grupo de botánicos de la University of Arizona y otras partes, encabezados por Paul S. Martin, exploraron el sur de Sonora, expandiendo el trabajo pionero de Gentry (Martin *et al.*, 1998). Su flora revisada del río Mayo incluyó extensas colectas de la Selva Baja Caducifolia (SBC) a lo largo del río Cuchujaqui cerca de Álamos (Van Devender *et al.*, 2000), del matorral espinoso costero del sur de Sonora (Friedman, 1996) y de los bosques tropicales y de montaña del municipio de Yécora en la por-

ción este y central (Van Devender *et al.*, 2003 y 2005). Gentry también colectó bastante en muchas otras partes de Sonora (H.S. Gentry, 1964, 1972 y 1982), especialmente magueyes (Gentry, 1972 y 1982). De la flora de Sonora, 23 taxones han sido nombrados en honor de Gentry (veintiún especies y dos variedades) y él mismo describió 36 taxones (28 especies, 7 variedades y 1 subespecie).

Varios estudios botánicos del siglo xx se llevaron a cabo en la zona fronteriza del norte de Sonora. Stephen S. White (1909-1979) exploró la región del río Bavispe de 1938 a 1941 para su tesis doctoral en la University of Michigan. Él y sus colegas, entre ellos los agrostólogos José Vera Santos y LeRoy H. Harvey y el especialista en helechos Edwin A. Phillips, colectaron cerca de cuatro mil ejemplares de cerca de mil doscientos taxones de plantas (ca. 980 actualmente aceptadas), con lo que produjeron una obra clásica de la flora regional (White, 1948). Como parte de un estudio de aves que se llevó a cabo de 1951 a 1953 en la cadena de islas serranas en el sureste de Arizona, noreste de Sonora y la parte adyacente de Chihuahua, Joseph T. Marshall describió los encinales y bosques de pino-encino y colectó ejemplares botánicos (Marshall, 1957). Fishbein *et al.* (1995) publicaron una flora preliminar de trescientas setenta especies de los bosques mixtos de coníferas y de pino-encino de la zona templada más alta de la sierra de los Ajos al sureste de Cananea.

Comenzando en 1963, Raymond M. Turner, J. Rodney Hastings y después Tony L. Burgess hicieron numerosas excursiones a Sonora y Baja California para documentar la distribución de 414 especies de plantas en el Desierto Sonorense. Sus observaciones, colectas e información de herbarios y de otras fuentes se presentan en la obra *Sonoran Desert Plants. An Ecological Atlas* (Turner *et al.*, 1995).

Desde la década de 1960, Felger, Van Devender, Reina-Guerrero y Fishbein han hecho extensas colectas en todo el estado. Felger ha publicado trabajos florísticos para las islas del Golfo de California y la zona costera (Felger y Lowe, 1976), el cañón de Nacapule (Felger, 1999), el Gran Desierto y Río Colorado (Felger, 2000), entre otros.

Van Devender y Reina-Guerrero han colectado extensamente cerca de Álamos en el sur de Sonora (Van Devender *et al.*, 2000), en el matorral espinoso de piedemonte cerca de Moctezuma y Tónichi en el centro de Sonora, en los bosques de la Sierra Madre cerca de Yécora en el este de Sonora (Reina-Guerrero y Van Devender, 2005; Van Devender *et al.*, 2003 y 2005) y en el matorral del Desierto Chihuahuense en caliza y pastizal desértico en la zona fronteriza del noreste (Van Devender y Reina-Guerrero, 2005). De los autores de este capítulo, Reina-Guerrero y Van Devender tienen cada uno tres especies nombradas en su honor y Felger tiene dos. Felger ha descrito dieciocho taxones, Van Devender tres y Fishbein dos.

CLASIFICACIÓN DE LAS PLANTAS

En la segunda mitad del siglo XX la clasificación de los taxones superiores (familias y categorías superiores) de las angiospermas siguió el sistema creado por Arthur Cronquist (1981), Armen Takhtajan (1997) y Robert Thorne (1992). Información más reciente, la que incluye análisis moleculares de ADN y avances en métodos analíticos computarizados, llevó a la reorganización de las familias de plantas por el Grupo para la Filogenia de las Angiospermas (APG, por su siglas del inglés Angiosperm Phylogeny Group, 1998 y 2003). El sistema APG intenta proporcionar un esquema de clasificación más natural (uno que mejor represente la historia de la evolución de las plantas con flores). Los disidentes, sin embargo, sostienen que este tipo de sistema, el cual incorpora diagramas de ramificación divergente en los árboles filogenéticos, no es jerárquico o natural y abandona el uso de grados de divergencia para niveles taxonómicos. El sistema APG ha sido adoptado recientemente por el proyecto Flora de Norteamérica (Flora of North America Editorial Committee 1993) y algunas agencias del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (<http://plants.usda.gov>).

El elegante sistema de clasificación binomial se le atribuye al biólogo sueco Carlos Linneo (1707-

1778) y el año 1753 se considera como la fecha inicial para el reconocimiento de los nombres científicos de plantas. En realidad, los indígenas de todo el mundo también usan un sistema binomial de clasificación que incluye un concepto de género en las culturas locales. Es muy probable que Linneo conociera esta taxonomía de los pueblos europeos y extendiera o adoptara estas formas orales de clasificar el mundo de los seres vivos. Por ejemplo, en unas cuantas páginas uno puede enlistar las más de cuatrocientas familias de plantas vasculares de la tierra, arregladas en categorías superiores como órdenes y clases, etcétera. Para una región de Sonora, como el Pinacate y Gran Desierto del noroeste de Sonora, también se pueden enlistar 589 especies en más o menos doce páginas (Felger, 2000) o un listado florístico de las más de 285 especies de árboles de Sonora en sólo unas cuantas páginas (Felger *et al.*, 2001). Para los árboles, la sola palabra *Quercus* proporciona el concepto de un encino y lo conecta con cuatrocientas especies de amplia distribución en el hemisferio norte y hacia el sur hasta Colombia y Malasia. *Quercus* incluye por lo menos 125 especies en México, con 22 especies y 8 híbridos interespecíficos en Sonora.

El APG y las definiciones y alineaciones de las familias clásicas de Cronquist quizás sean diferentes, pero no cambia la taxonomía de géneros y especies. La variación morfológica y geográfica de muchos grupos de plantas hace que el uso de unidades de clasificación más pequeñas sea una herramienta muy útil y a menudo necesaria. Algunos taxónomos eliminan los taxones intraespecíficos (variedades y subespecies), argumentando que hay que reconocer a las poblaciones morfológica o genéticamente distintas como especies. Sin embargo, otros sostienen que al descartar las subespecies o elevarlas automáticamente a rango de especie se ignoran las relaciones e hipótesis evolutivas que reflejan estas formas incipientes de diferenciación.

REGISTROS DE HERBARIOS

Las colecciones de plantas de Sonora se albergan

en diferentes herbarios. Los ejemplares de la expedición de Sessé y Moñino de 1791 están en el Real Jardín Botánico de Madrid. Las colecciones del siglo XIX de Palmer y Rose están en el United States National Herbarium (US; las siglas para los herbarios son de acuerdo al Index Herbariorum; Thiers, 2009) en Washington, D.C., así como las colectas que después hicieron Hitchcock y Chase. Debe mencionarse que muchos colectores como Palmer, Pringle y White hicieron numerosos duplicados que actualmente se albergan en diferentes herbarios. Algunos de los ejemplares que Coulter colectó en México fueron enviados al Herbarium of the Royal Botanic Garden (KEW) en Londres y también a John Torrey y Asa Gray en Estados Unidos [probablemente al Gray Herbarium (GH) en Harvard University] (Coville, 1895). Las colecciones de Pringle están en el Pringle Herbarium en la University of Vermont (VT). Las colecciones de Wiggins se depositaron en el Dudley Herbarium (DS) en Stanford, que actualmente forma parte del California Academy of Science Herbarium (CAS) en San Francisco. Las colecciones de Shreve se depositaron en el Shreve Herbarium, que en la actualidad es parte del University of Arizona Herbarium (ARIZ) en Tucson. Las colecciones de Gentry estaban en el Gentry Herbarium, que ahora está en ARIZ, con una colección parcial de duplicados en el Herbario Nacional en la Universidad Nacional Autónoma de México (MEXU) en la Ciudad de México. Las colecciones de Jones originalmente estaban en el Herbarium of Pomona College (POM), que más tarde se incorporó al Rancho Santa Ana Herbarium (RSA) en Claremont, California. Las colecciones de White se depositaron en el University of Michigan Herbarium (MICH), con duplicados en otros herbarios como ARIZ y US. Las colecciones de Marshall están en ARIZ. Las colecciones de Turner, Hastings y Burgess también están en ARIZ. Las colecciones de Helia-Bravo, Pedro Tenorio-Lezama, Alberto Búrquez-Montijo y Exequiel Ezcurra están en MEXU.

Las colecciones de la mayoría de los autores de este capítulo están en ARIZ, con importantes juegos de duplicados en los herbarios de la Universi-

dad de Sonora (USON) en Hermosillo, en el MEXU, en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (HCIB) de La Paz, Baja California Sur, en el Missouri Botanical Garden (MO) en Saint Louis, en el New Mexico State University (NMC) en Las Cruces, en el CAS, en el RSA y en la University of Texas (TEX) en Austin. Las colecciones de Brad Boyle, Mark A. Dimmitt, Pierre C. Fischer, George M. Ferguson, Deborah E. Goldberg, Phil Jenkins, Gene Joseph, Richard D. Krizman, Paul S. Martin, Charles T. Mason Jr., Steven P. McLaughlin, Frank Reichenbacher, Greg Starr, Victor W. Steinmann, Benjamin T. Wilder, Michael F. Wilson y George Yatskievych también están en ARIZ. Las colecciones de Marc A. Baker, Elaine Joyal, Elinor Lehto y Donald J. Pinkava están en el Arizona State University (ASU) en Tempe. Las colecciones de Thomas F. Daniel están en el CAS, las de Andrew C. Sanders en la University of California (UCR) en Riverside y las de Grady Webster en la University of California (DAV) en Davis.

Así, las colecciones más grandes de plantas del estado de Sonora están en ARIZ, USON, MEXU, ASU, CAS, HCIB, MICH, MO, NMC, RSA y UCR. Ejemplares adicionales se encuentran en los herbarios de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (ENCB) en la Ciudad de México, en el Eastern Illinois University (EIU) en Charleston, en el Centro Regional del Bajío, en el Instituto de Ecología (IEB) en Pátzcuaro, Michoacán, en la Universidad de Guadalajara (IBUG), en el San Diego Natural History Museum (SD), en la University of California (UC) en Berkeley, en GH y en US.

El Herbario USON se estableció en 1996 y actualmente contiene cerca de catorce mil ejemplares. Toda la colección está capturada en una base de datos debido al esfuerzo de su director, Jesús Sánchez-Escalante. Varios colectores han hecho contribuciones importantes a este Herbario, entre ellos: Alejandro Castellanos-Villegas, Richard Felger, Alf Meling-López, Rigoberto López-Estudillo, Agustín Flores-Macías, Alberto Búrquez, Ana Lilia Reina-Guerrero, Jesús Sánchez-Escalante, Thomas R. Van Devender y Benjamin T. Wilder.

DIVERSIDAD TAXONÓMICA

La flora de Sonora documentada actualmente con ejemplares de herbario cuenta con 3 659 taxones específicos e intraespecíficos en 188 familias y 1 107 géneros (véase apéndice en disco compacto). De las 3 493 especies, 104 están representadas por más de una variedad y 43 por más de una subespecie. Treinta tienen un origen híbrido y quizás no sean taxones reproductivos. Sin incluir las 246 especies no nativas, el estado tiene 3 237 especies nativas. Hay 29 especies, 8 variedades y 1 subespecie que llevan el nombre de Sonora.

La composición taxonómica ayuda a describir la flora de Sonora. La tabla 1 presenta 22 familias con cuarenta o más taxones. Las tres familias más importantes son Asteraceae (513 taxones), Poaceae (360) y Fabaceae (346), las cuales representan 33.3% de la flora. Estas abundancias relativas son típicas de floras de zonas templadas, muy diferente de las floras de la selva baja caducifolia, la cual es dominada por la familia Fabaceae (A. Gentry, 1995). Las familias Asteraceae y Poaceae son importantes en todas las comunidades bióticas del estado. Los números de taxones en la Euphorbiaceae (149), Malvaceae [130, la cual incluye Bombacaceae (2), Sterculiaceae (21) y Tiliaceae (14)], Convolvulaceae (83), Apocynaceae [78, la cual incluye Asclepiadaceae (63)], Rubiaceae (53), Orchidaceae (47), Acanthaceae (43) y Cucurbitaceae (41) son fuertes indicadores de la importancia de las plantas neotropicales en la flora. La abundancia de Cactaceae (107) refleja la importancia del Desierto Sonorense, el Desierto Chihuahuense y la vegetación tropical con estaciones secas. La flora de helechos y licofitas de Sonora es muy diversa con 143 taxones en 39 géneros y 16 familias (Yatskievych *et al.*, en este vol.). Colectivamente, éstos representan más de trece por ciento de la diversidad de plantas vasculares sin semilla de México.

La tabla 2 presenta 18 géneros con veinte o más taxones en Sonora. Estos géneros reflejan la importancia de las familias Asteraceae (*Brickellia*, *Eriogonum*), Poaceae (*Eragrostis*, *Muhlenbergia*, *Panicum*), Fabaceae (*Astragalus*, *Dalea*, *Desmodium*) y otras fa-

milias en la tabla 1, además de *Quercus* (30 taxones) en la Fagaceae. Los géneros más importantes son *Euphorbia* (77 taxones), *Cyperus* (49 taxones), *Muhlenbergia* (48 taxones) e *Ipomoea* (43 taxones).

Los números reales de taxones y especies para áreas geográficas grandes y diversas como los estados son difíciles de determinar. Estimamos que el número real de taxones de Sonora es comparable con las floras de Chihuahua (ca. 4 500 taxones; R. Corral-Díaz, 2009, com. pers.) y de Durango (4 562 taxones; M. González *et al.*, 1991; S. González, 2009, com. pers.). J.L. León de la Luz (2009, com. pers.) estima ca. 1 700 taxones para Baja California Sur. Para la Península de Baja California (estados de Baja California y Baja California Sur), Wiggins (1980) reportó 2 958 taxones, pero J. Reberman (2009, com. pers.) actualmente tiene registros documentados para 4 170 taxones. El reporte de 3 370 especies para Arizona por Kearney y Peebles (1964) fue aumentado a 3 512 por Nature Serve (2002). La base de datos por Internet: Red de Información Ambiental del Suroeste (SEINet, por su acrónimo del inglés *Southwest Environmental Information Network*, <http://swbiodiversity.org/seinet/collections/index.php>) contiene para el estado de Arizona 4 252 especies y 4 901 taxones, pero debido a problemas taxonómicos y errores en la identificación, el total es más cercano a cuatro mil especies y cuatro mil seiscientos taxones (E. Gilbert, 2009, com. pers.).

BIOGEOGRAFÍA

La información actualmente disponible no es suficiente para un análisis detallado de los patrones de distribución de las plantas de Sonora, a excepción de los helechos, presentados por Yatskievych *et al.* (en este vol.). A continuación ilustramos patrones biogeográficos con ejemplos de especies que alcanzan sus límites de distribución en la entidad.

Límites septentrionales

La amplia transición entre los trópicos del Nuevo

Mundo y los biomas de las zonas templadas del norte se localiza en la porción este central de Sonora cerca de la latitud 28-29° N. Los límites septentrionales de los árboles de Sonora se dicuten en Felger *et al.* (2001). Algunos árboles tropicales con amplia distribución, como son: cortopico (*Drypetes gentryi*), haya (*Cinnamomum hartmannii*), laurel cimarrón (*Persea podadenia*), magnolia (*Magnolia pacifica* subsp. *tarahumara*), palo barril (*Cochlospermum vitifolium*), palo joso (*Conzattia multiflora*), papaya cimarrón (*Oreopanax peltatum*), sahuira (*Stenocereus montanus*) y tampiserán (*Platymiscium trifoliatum*) alcanzan sus límites más al norte en la selva baja caducifolia (SBC) desde Álamos a la sierra Saguaribo en el sur de Sonora. El aguacate de dos hojas (*Dendropanax arboreus*) se encuentra en Sonora sólo en la selva tropical semi-decídua en el Arroyo Verde al noreste de Álamos. Otras plantas de la SBC, entre ellas: amapa amarilla (*Tabebuia chrysantha*), nesco (*Lonchocarpus hermannii*), palo pinto (*Chloroleucon mangense*), palo mulato (*Bursera grandifolia*), palo piojo (*Brongnartia alamosana*), pitahaya barbona (*Pilosocereus alensis*) y sabino (*Taxodium distichum* var. *mexicanum*) alcanzan sus límites más al norte entre Tepoca y San Javier (ca. 28° 30' N). Las poblaciones más al norte de copalquín (*Hintonia latifolia*), *Dalechampia scandens*, palma de la virgen (*Dioon sonorensis*) y vara prieta (*Croton alamosanus*) se encuentran en la sierra de Mazatán, ochenta kilómetros al este de Hermosillo (29° 05' N). Un árbol de nacapule (*Ficus pertusa*) se encuentra en un cañón cerca de San Pedro de la Cueva (29° 18' N), mientras que las tescalamas (*F. petiolaris*) de los paredones rocosos al este de Cucurpe (30° 23' N) se encuentran en asociaciones sorprendentes con los maples (*Acer grandidentatum*) de zonas templadas. Un grupo aislado de guasaraco (*Parthenium tomentosum* var. *stramonium*) ocurre al noroeste de Sinoquipe (30° 12' N). Otras especies con afinidades tropicales llegan hasta el Cañón de la Palma al sureste de Magdalena (30° 29' N), entre ellos están el babiso (*Brahea nitida*; Felger y Joyal, 1999), negrito (*Lasiacis ruscifolia*), sinvergüenza (*Tradescantia andrieuxii*) y tonchi (*Marsdenia edulis*). Otras, que incluyen bebelama

(*Sideroxylon occidentale*), chiltepín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*), cusi saucillo (*Quercus viminea*), palo chino (*Havardia mexicana*), tepeguaje (*Lysiloma watsonii*), ojo de víbora (*Phaulothamnus spinescens*), tésota (*Senegalia occidentalis*) y toji (*Struthanthus palmeri*), ocurren muy cerca de la frontera con Arizona en la sierra Las Avispas al oeste de Nogales (ca. 31° 10' N). En el noreste de Sonora, el ocotillo macho (*Fouquieria macdougalii*) ocurre al este de Nacozari de García (30° 22' N) y el palo brea (*Parkinsonia praecox*) al sureste de Agua Prieta (31° 11' N). De estas especies, sólo el chiltepín y el tepeguaje llegan a Arizona.

En el oeste de Sonora las especies tropicales alcanzan sus límites de distribución en sierras y cañones protegidos del Desierto Sonorense. Los individuos más norteños de *Pereskiaopsis porteri*, un cactus semejante a una choya con hojas, se encuentran en la región de Guaymas. El chalate o higuera (*Ficus insipida*), nacapule (*Thelypteris puberula* var. *sonorensis*) y la uva del mar (*Coccoloba goldmanii*) se encuentran en el cañón del Nacapule (ca. 28° N) en la sierra El Aguaje cerca de San Carlos (Felger, 1999). Otras especies tropicales se localizan en la zona arqueológica La Pintada en la Sierra Libre, 55 km al sur de Hermosillo (28° 35' N), entre ellos *Aphanosperma sinaloensis*, arbolillo (*Sapindus saponaria*), papache borracho (*Randia sonorensis*) y sarramatraca (*Peniocereus marianus*).

Muchas plantas características de las sierras mexicanas alcanzan sus límites más al norte en la cadena de islas serranas del noreste del estado de Sonora y del sureste de Arizona. Algunos ejemplos de éstas son: aigro (*Rhus terebinthifolia*) y cusi saucillo en la sierra Las Avispas cerca de Nogales y tásate duranguense (*Juniperus durangensis*) en la sierra El Tigre (White, 1948). Varios árboles de bosque de pino o encino tienen una amplia distribución desde el noroeste de la Sierra Madre hacia el sureste de Arizona; *v.g.*, pino real (*Pinus engelmannii*), pino blanco (*P. arizonica*), encino blanco (*Quercus arizonica*), encino azul (*Q. oblongifolia*), cusi prieto (*Q. hypoleucooides*) y tásate (*Juniperus deppeana*; Felger *et al.*, 2001; Reina-Guerrero y Van Devender, 2005).

Límites occidentales

Muchas especies tropicales alcanzan sus límites occidentales en la amplia transición entre las áreas tropicales del este-centro de Sonora y el Desierto Sonorense. Las poblaciones más al oeste de varias plantas típicas de la SBC se encuentran en la sierra San Javier y la Sierra de Mazatán (Sánchez-Escalante, *et al.*, 2005). Algunos ejemplos son: amapas (*Tabebuia chrysantha*, *T. impetiginosa*), brincador (*Sebastiania pavoniana*), chopo (*Mimosa palmeri*), guásima (*Guazuma ulmifolia*), palo colorado (*Caesalpinia platyloba*), palo de asta (*Cordia sonorae*), palo pinto (*Chloroleucon mangense*), palo zorrillo (*Senna atomaria*), papache (*Randia echinocarpa*), pochote (*Ceiba acuminata*) y vara prieta (*Croton alamosanus*, *C. flavescens*). Shreve (1964) definió la parte occidental de esta área como Piedemonte de Sonora, una subdivisión del Desierto Sonorense, pero después se reclasificó como matorral espinoso sinaloense (Felger y Lowe, 1976; Brown, 1982; Turner y Brown, 1982). El matorral espinoso en Sonora se reclasificó como matorral espinoso de piedemonte y matorral espinoso costero (Felger y Lowe, 1976; Martin *et al.*, 1998; Búrquez *et al.*, 1999). Otras especies tropicales se extienden hacia el oeste en el matorral espinoso de piedemonte y en las Planicies de Sonora, subdivisión del Desierto Sonorense, entre ellos: etcho (*Pachycereus pecten-aboriginum*), guayacán (*Guaiacum coulteri*), palo santo (*Ipomoea arborescens*) y Sanjuanico (*Jacquinia macrocarpa* ssp. *pungens*).

Varias especies de montaña Madreña alcanzan sus límites occidentales en la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre cerca de Yécora en el este de Sonora (Spellenberg *et al.*, 1996; Van Devender *et al.*, 2005; Felger *et al.*, 2001), entre ellas: tilo (*Tilia americana*), pinabete (*Abies durangensis*), pinos (*Pinus herrerae*, *P. lumholtzii*, *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. yecorensis*), arbustos ericáceos (*Comarostaphylis polifolia*, *Gaultheria glaucifolia*), acebos (*Ilex rubra*, *I. toluicana*), júcaro (*Ostrya virginiana*), encinos (*Quercus coccolobifolia*, *Q. durifolia*, *Q. mcvaughii*, *Q. tarahumara*) y *Clethra mexicana*.

Muchas plantas de los pastizales alcanzan sus

límites occidentales al sur de las Baboquivari Mountains en una gran área de pastizal del desierto, la cual colinda con el matorral desértico del altiplano de Arizona al suroeste. Los registros más al oeste cerca de Sásabe (111° 36' O) incluyen *Croton potsii*, *Coryphantha robustispina* subsp. *robustispina*, *Gutierrezia microcephala* y navajita morada (*Bouteloua chondrosioides*). Otras especies se encuentran más al oeste en la sierra El Humo (111° 55' O), entre ellas: hierba del corazón (*Dalea pogonathera*), gatuño (*Mimosa dysocarpa*), hierba del pasmo (*Baccharis pteronioides*), flor de papel (*Psilostrophe cooperi*), palmilla (*Yucca elata*) y zacate lobero (*Lycurus setosus*).

Límites meridionales

Los límites más al sur de los árboles de Sonora se discuten en Felger *et al.* (2001). Las poblaciones más meridionales de especies de zonas boreales y templadas ocurren en las zonas altas con bosques mixtos de coníferas, principalmente en la sierra de los Ajos al este de Cananea en el noreste de Sonora (Fishbein *et al.*, 1995). *Comandra umbellata*, madre selva (*Lonicera arizonica*) y *Rhamnus crocea* ocurren en Sonora sólo en los encinales de la región del río Bavispe en el área fronteriza del norte (White, 1948). Otras especies características del bosque de pino-encino en las cordilleras de islas serranas del Archipiélago Madreña alcanzan sus límites más al sur en la Sierra Madre Occidental en la porción este-centro de Sonora y la parte adyacente de Chihuahua, entre ellos: alamillo (*Alnus oblongifolia*), aliso (*Platanus wrightii*), maple, junquis (*Ceanothus pauciflorus*), *Philadelphus microphyllus*, sauz (*Salix gooddingii*) y espuela de gallo (*Sageretia wrightii*; Reina-Guerrero y Van Devender, 2005).

En el noreste de Sonora las plantas del pastizal alcanzan sus límites más al sur en la transición a matorral espinoso de piedemonte, cerca de cincuenta a ochenta kilómetros al sur de la frontera con Arizona. Entre ellos: pluma apache (*Fallugia paradoxa*), zacate búfalo (*Büchloe dactyloides*), *Desmanthus cooleyi*, hierba de pasmo (*Baccharis pteronioides*), limita (*Rhus microphylla*), *Grindelia oxylepis*, pal-

milla (*Nolina texana*), zinia (*Zinnia grandiflora*) y choyita (*Coryphantha vivipara*). La cabeza de viejo (*Echinocereus rigidissimus*) en la SBC al noroeste de Tepoca (28° 29' 16" N, 900 m altitud) y cerca de Tetajiosa (27° 00' N) en el occidente de la sierra de Álamos son también registros meridionales interesantes.

Muchas plantas del Desierto Chihuahuense alcanzan sus límites meridionales de distribución en caliza al noreste de Sonora tan sólo a cincuenta kilómetros de la frontera con Arizona. Algunos ejemplos son: *Polygala scoparioides*, cuetito (*Ruellia parryi*), pegajosa (*Mentzelia oligosperma*), *Physaria fendleri*, oreja de ratón (*Bernardia myricifolia*), contrahierba (*Thymophylla acerosa*), *Cyphomeris gypsophiloides*, afinador (*Mortonia scabrella*), encino chino (*Quercus pungens*) y hojasén (*Flourensia cernua*). Otras plantas del Desierto Chihuahuense ocasionalmente se encuentran en suelos no calcáreos en el área de Benjamín Hill en el Desierto Sonorense del centro de Sonora; *v.g.*, talayote (*Asclepias brachystephana*), confiturilla lila (*Lantana macro-poda*), hojasén (*Senna wislizenii*) y daisillo (*S. bahinioides*). Una de las áreas más inusuales para plantas del Desierto Chihuahuense son las calizas de la sierra del Viejo en el noroeste de Sonora, con poblaciones relictas de hierba de la rabia (*Acleisanthes longiflora*), *Glandulicactus uncinatus*, cabecita de viejo (*Mammillaria lasiacantha*) y manca caballo (*Echinocactus horizonthalonius* var. *nicholii*; Yatskievych y Fischer, 1983).

Las poblaciones más al sur de varias plantas del Desierto Sonorense se localizan en el matorral espinoso al sur del Desierto Sonorense. La gobernadora o hediondilla (*Larrea divaricata*) en Sonora tiene su límite más al sur en Cruz de Piedra, al sureste de Guaymas (27° 27' N, 20 m altitud). El registro más al sur de palo fierro (*Olneya tesota*) está en Teachive (26° 47' N, 75 m altitud) y de sahuaro (*Carnegiea gigantea*) en Mesa Masiaca (26° 46' 24" N, 200 m altitud), ambos al sur de Navojoa. Una población aislada de corona de cristo (*Koeberlinia spinosa*) se ubica en el matorral espinoso costero cerca de Las Bocas (26° 37' 53" N). El límite más al sur de rama blanca (*Encelia farinosa*)

está cerca de Los Mochis en el norte de Sinaloa (26° 14' 56" N).

Límites orientales

Un gran número de plantas que se encuentran principalmente en la Península de Baja California tienen poblaciones continentales en áreas limitadas del occidente de Sonora. Las plantas de Baja California en el área de Guaymas o hacia el sur incluyen la palma abanico (*Washingtonia robusta*), algodón (*Gossypium davidsonii*), *Brickellia rhomboidea*, candelilla [*Euphorbia lomelii* (*Pedilanthus macrocarpus*)], *Croton magdalenae*, palo blanco (*Lysiloma candidum*) y *Vallesia laciniata* (Felger, 1999; Felger *et al.*, 2001). Otras especies de Baja California se encuentran desde el área de Puerto Libertad-Sierra Bacha hasta el área de Bahía de Kino, entre ellas: chicurillas (*Ambrosia camphorata*, *A. chenopodifolia*, *A. divaricata*), cirio (*Fouquieria columnaris*), jumetón (*Euphorbia misera*) y *Bahiopsis laciniata* (Turner *et al.*, 1995). El jumetón (*Euphorbia xanti*) ocurre en Sonora al norte de Bahía de Kino, en la región de Guaymas y en la Isla del Tiburón (Turner *et al.*, 1995; Wilder *et al.*, 2007). *Ambrosia camphorata* también tiene poblaciones disyuntas en Guanajuato y San Luis Potosí en el centro de México (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1998). Otra chicurilla (*Ambrosia acuminata*) se conoce sólo de unos cuantos registros de la parte central de Baja California y la porción noroeste de la sierra El Aguaje al norte de Guaymas.

Algunas especies con distribución disyunta de Baja California, como *Ruellia leucantha*, se encuentran tierra adentro cerca de la zona arqueológica de La Pintada en la sierra Libre al sur de Hermosillo. El sahueso o cardón (*Pachycereus pringlei*), torote prieto (*Bursera hindsiana*), mariola (*Solanum hindsianum*), *Euphorbia tomentulosa* y otros ocurren en la zona continental en una amplia franja a lo largo de la costa (Felger *et al.*, 2001; Turner *et al.*, 1995). *Brickellia brandegei* ocurre en la región del Cabo de Baja California Sur y en el matorral espinoso costero del sur de Sonora (Friedman, 1996; Martin *et al.*, 1998). Unas cuantas especies

de la región del Cabo (Wiggins, 1980), como el arbusto huizapolón (*Ambrosia carduacea*; Turner *et al.*, 1995) y el huérigo (*Populus monticola*), tienen poblaciones disyuntas en el este-centro de Sonora. *Ambrosia carduacea* también se encuentra en la sierra Seri cerca de la costa y en la Isla del Tiburón (Wilder *et al.*, 2007).

Los límites más al este de algunas plantas del Desierto Sonorense se encuentran dentro de las áreas tropicales. La chuparrosa (*Justicia californica*) y el palo fierro del desierto ocurren cerca de Ónavas a lo largo del río Yaqui. El palo fierro también es común en el matorral espinoso de piedemonte arriba del río Sonora cerca de Mazocahui. Unos cuantos sahuaros se encuentran en la sierra El Pulpito, una cordillera de las islas serranas en la frontera con Chihuahua en el noreste de Sonora (Steve Hale, 2000, com. pers.). Algunas rama blancas y *Bebbia juncea* se encuentran en matorral del Desierto Chihuahuense al este de Agua Prieta a orillas de la carretera federal Mex 2 en el noreste de Sonora, justo al sur de la frontera con Arizona.

EVOLUCIÓN DE LA FLORA

La diversidad florística de Sonora es el resultado de una compleja evolución biótica, de cambios climáticos y formación del paisaje. Las raíces más profundas de la flora se remontan al Terciario temprano cuando los bosques tropicales tenían una distribución amplia de un extremo a otro del continente relativamente plano. En el Eoceno (hace 54 a 35 millones de años) los árboles caducifolios se vuelven cada vez más comunes en los registros fósiles y proporcionan la primera evidencia de una estación seca y, por consiguiente, de bosques tropicales caducifolios (Wolfe y Hopkins, 1967; Axelrod y Bailey, 1969; Leopold *et al.*, 1992). Las radiaciones evolutivas de las plantas que dominan la flora moderna (Fabaceae, Asteraceae y Poaceae) fueron inducidas por nuevos extremos en radiación, calor y aridez, preadaptando a muchas plantas a los futuros ambientes desérticos. La elevación de la Sierra Madre Occidental (SMO) y las Monta-

ñas Rocallosas a finales del Oligoceno-mediados del Mioceno (hace 25 a 15 millones de años) tuvieron impactos dramáticos en la biota (Van Devender, 2002). Por primera vez, las plantas se distribuyeron a lo largo de gradientes de altitud y se segregaron en zonas de vegetación, donde los bosques tropicales que anteriormente tenían una amplia distribución se redujeron a los márgenes costeros alrededor del continente. Por estar preadaptados al frío y a los suelos ácidos, los encinos y los pinos formaron bosques en las tierras altas. Estos eventos orográficos crearon las provincias bióticas modernas de Norteamérica, con el occidente montañoso, el centro continental plano y seco por efecto de sombra orográfica y el aire descendente estable, y la Altiplanicie Mexicana con sombra orográfica de las dos sierras Madre en la costa del Pacífico y el Golfo de México, pero sin barrera al norte para el aire frío del Ártico.

En el Mioceno medio los pastizales se formaron por primera vez en las Grandes Llanuras y la Altiplanicie Mexicana. La elevación de la Sierra Madre Occidental aisló la selva baja caducifolia al oeste. Conforme la región se secó gradualmente, la SBC cambió a matorral espinoso y finalmente a matorral desértico a medida que se formaba el Desierto Sonorense hace cerca de ocho millones de años (Axelrod, 1979). La apertura del Golfo de California hace 15 a 5 millones de años separó el Desierto Sonorense, con lo que se diferenciaron las subdivisiones modernas y se estimuló la radiación evolutiva de la biota de la península de Baja California, uno de los centros de endemismo más extraordinarios del planeta.

Los cambios climáticos durante el Pleistoceno, con 15-20 ciclos climáticos glacial e interglacial, tuvieron un impacto dramático en el Desierto Sonorense. En el suroeste de Arizona los bosques de la Edad de Hielo estaban dominados por piñón de una aguja (*Pinus monophylla*), táscales (*Juniperus* spp.) y encinillo (*Quercus turbinella*), los cuales tenían una amplia distribución que llegaba hasta los 550 m de altitud previo a los últimos once mil años (Van Devender, 1990). Los bosques más secos dominados por táscales de California (*J. cali-*

fornica) y dátil (*Yucca brevifolia*) tenían una distribución que llegaba hasta los 250 m con matorral desértico dominado por gobernadora (*Larrea divaricata*), presente por debajo de los trescientos metros en la subdivisión Valle del Bajo Río Colorado (Van Devender, 1990; Hunter *et al.*, 2001). Los climas de la Edad de Hielo se diferenciaban de los modernos por tener veranos mucho más frescos, menos heladas de invierno, mayor precipitación invernal por tormentas de frentes del Pacífico y menor precipitación de verano proveniente de los océanos tropicales. Los períodos glaciales fueron de diez a veinte veces más largos que los interglaciares (ca. diez mil a veinte mil años), los cuales fueron relativamente más cortos. La mayor parte de los dos millones de años del Pleistoceno tuvieron típicamente las condiciones climáticas de hace doce mil años, con bosques ampliamente distribuidos en las tierras bajas del desierto (Porter, 1989; Winograd *et al.*, 1997). En Sonora el cambio hacia una mayor precipitación de invierno produjo un área amplia a lo largo de la costa del Golfo de California con climas más similares a los del centro de Baja California (Van Devender *et al.*, 1994a).

CONSERVACIÓN

Especies endémicas

La tabla 3 presenta 78 taxones en 26 familias conocidas sólo del área continental de Sonora (67 especies, 8 subespecies y 2 variedades). Éstas representan tan sólo 2.3% de los 3 413 taxones nativos. Las familias con el mayor número de taxones endémicos son la Cactaceae (13), Asteraceae (12) y Agavaceae (11, 9 *Agave*). Otras familias con múltiples especies endémicas son: Fabaceae (6 taxones), Apocynaceae (5 taxones) y Euphorbiaceae (5 taxones; Steinmann y Felger 1997). Destaca la falta de taxones endémicos en Poaceae, así como en Acanthaceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Cyperaceae, Lamiaceae y Orchidaceae.

La mayoría de las 78 plantas endémicas son hierbas (26 taxones, incluyendo 8 anuales, 33.3%).

Hay 27 plantas leñosas (34.6%), entre ellas 18 arbustos, 6 subarbustos, 4 trepadoras y la cícada de roseta leñosa, *Dioon sonorensis*. Las suculentas, especialmente los cactus (13 taxones) y magueyes (11 taxones), están muy bien representadas (30.8%) entre las plantas endémicas.

Los patrones de distribución de las plantas endémicas de Sonora ayudan a comprender la historia de la evolución de la flora. La mayor concentración de especies endémicas de Sonora (20 taxones, 25.6%) se encuentra en la porción este del estado, desde el área de Yécora hacia el este a la frontera con Chihuahua. Las áreas de lodolita volcánica desnudas se formaron durante la Formación Baucarit del Mioceno y, con seis taxones endémicos (*Boerhavia traubae*, *Mammillaria saboae* var. *haudeana*, *Menodora yecorensis*, *Pectis vandevendleri*, *Portulaca yecorensis* y *Tridax yecorana*), destaca como un área de alta especiación. Considerando que ésta es un área en el límite occidental del centro de la Sierra Madre y que se encuentran otras cuasiendémicas en algunas localidades de Chihuahua, esta región constituye una importante arena de evolución. Contrario a las creencias dominantes, existen más especies endémicas locales en la masa territorial de la Sierra Madre Occidental, que en la cadena de islas serranas Madrenses del noroeste de Sonora y sureste de Arizona.

Las plantas endémicas también son comunes en el sur de Sonora (18 taxones, 23.1%) y en la selva baja caducifolia del área de Álamos. Estas especies probablemente reflejen las diferencias ambientales que existen entre las comunidades tropicales del norte y las de más al sur. Hay 16 taxones endémicos (20.5%) en una amplia área en el centro de Sonora, desde Hermosillo hacia el norte hasta Magdalena de Kino y al este al área de Huásabas. Ésta es un área de cadenas montañosas aisladas y terrenos amplios con matorral desértico, matorral espinoso, encinal y cañones con hábitats ribereños. Con seis taxones endémicos, esta área destaca como una región importante para la evolución de Agavaceae. Otros dos taxones adicionales (*Argyrochosma lumholtzii* y *Mammillaria saboae* var. *goldii*) se encuentran en la porción norte centro de Sonora.

Otra concentración importante de especies endémicas de Sonora (17 taxones, 21.8%) se encuentra a lo largo del Golfo de California desde Guaymas hasta Bahía de Kino, siguiendo al noroeste a la Sierra Libre, incluyendo a *Stenaria sanchezii*. Esta área se ubica en las subdivisiones Costa Central del Golfo y Planicies de Sonora del Desierto Sonorense (Shreve, 1964) y alberga matorral espinoso de piedemonte en las cadenas montañosas emergentes y relictos de flora y vegetación tropical seca en los cañones (Felger, 1999; Felger y Lowe, 1976). Esta es un área con una topografía y vegetación compleja influenciada por la humedad del mar.

El Desierto Sonorense en el noroeste de Sonora tiene relativamente pocas endémicas (6.4%). *Citharexylum shrevei* se conoce sólo de la sierra Picu y *Agave fortiflora* y *A. pelona* se encuentran en la Sierra del Viejo y sierras cercanas entre Puerto Libertad y Caborca a Pitiquito. *Suaeda puertopenascoa* es una hierba suculenta perenne de las comunidades de halófitas cerca de Puerto Peñasco (Felger, 2000). *Senecio pinacatensis* es una hierba perenne restringida a las zonas altas de la sierra Pinacate (Felger, 2000). Probablemente es un relicto de la mezcla de chaparral con bosque de encino, táscates y piñón de la Edad de Hielo que se extendió a las tierras bajas del Desierto Sonorense en el suroeste de Arizona, a finales del Pleistoceno (Van Devender, 1990).

La cantidad de plantas endémicas de Sonora es sorpresivamente baja (2.3% de las especies nativas), especialmente cuando se compara con Baja California (23.2%, Wiggins 1980). Esto es fácil de entender, ya que el estado es una entidad política y no un área fitogeográfica «natural». Sonora es una región de ecotonos y de convergencia de varios tipos de vegetación y de muchas «áreas florísticas» regionales (McLaughlin, 1989) y no está aislada geológicamente como la Península de Baja California. Muchas especies con rangos de distribución restringidos principalmente a Sonora se extienden a los estados vecinos. Las especies de la selva baja caducifolia del sur de Sonora generalmente se extienden a Chihuahua y Sinaloa. Las especies de los encinales y del bosque de pino-encino se extien-

den a Chihuahua en la Sierra Madre Occidental al este y hacia Arizona y Nuevo México en la cadena de islas serranas al norte. Los pastizales y el matorral del Desierto Chihuahuense se extienden desde el noreste de Sonora hasta Arizona, Nuevo México y Chihuahua. La distribución de las especies del matorral del Desierto Sonorense en el oeste y especialmente el noroeste de Sonora se extienden a las islas del Golfo de California (Felger y Lowe, 1976; Wilder *et al.*, 2007), la Península de Baja California (Wiggins, 1980) y hacia el norte y el oeste a Arizona y California. No es difícil predecir que conforme otros grupos se estudien con más detalle, más plantas de Sonora perderán su categoría de «endémicas». Por ejemplo, Roalson (1999) describió *Eleocharis yecorensis*, un junco muy diferente con espigas de cinco lados, de las ciénegas de Yécora. Ahora sabemos que tiene una amplia distribución en México y que su distribución llega hasta Nicaragua (Socorro González-Elizondo, com. pers., 2008,). El endemismo es más alto en las islas del Golfo de California (Felger y Lowe, 1976; Wilder *et al.*, 2007) y algunas de estas especies quizás se descubran en el territorio continental del estado. Algunas de las especies cuasiendémicas de Sonora son notables endémicas regionales, *v.g.*, *Albizia sinaloensis*, *Anisacanthus andersonii*, *Echinocereus leucanthus*, *E. scocopulorum*, *E. stoloniferus*, *Ferocactus tiburonensis*, *Justicia sonorae*, *Mammillaria mainiae*, *Mariosousa willardiana*, *Sabal uresana*, *Stenocereus alamosensis* y *Yucca grandiflora*.

Especies protegidas

La tabla 4a presenta 58 plantas de Sonora que están legalmente protegidas por el gobierno de México (NOM-059-ECOL-2001; NOM, 2002). Las categorías de protección son E (probablemente extinta), P (en peligro de extinción), A (amenazada) Pr (sujeta a protección especial). La lista de plantas protegidas es compleja y necesita revisarse. Con base en más información de distribución y abundancia es probable que algunas especies sean realmente más comunes, con una distribución más amplia o no están tan amenazadas como previa-

mente se pensó, por lo que deberían ser reconsideradas, *v.g.*, *Amoreuxia palmatifida*, *Callitropis arizonica*, *Crusea coronata*, *Guaiacum coulteri*, *Juglans major*, *Olneya tesota*, *Peniocereus greggii* y *Sabal urensana*. Para *P. greggii* y otras como *Agave parviflora* y *Mammillaria saboae*, sus variedades tienen diferentes necesidades de conservación. La taxonomía es una ciencia dinámica y actualmente se usan nombres diferentes para varias especies de la lista de la NOM, como es el caso de *Anticlea virescens*, *Brahea aculeata*, *Callitropis arizonica*, *Dioon edule*, *Maianthemum racemosum*, *M. stellatum*, *Pinus strobiformis*, *Tabebuia impetiginosa* y *Tilia americana* var. *mexicana* (véase tabla 4a). Algunas de las plantas de la NOM son especies periféricas y raras en Sonora, pero pueden ser muy comunes en otras partes. Estas incluyen *Abies concolor*, *Anticlea virescens*, *Litsea glaucescens*, *Maianthemum racemosum*, *M. stellatum*, *Ostrya virginiana*, *Thermopsis montana*, *Tilia americana* var. *mexicana* y *Tripsacum zopilotense*.

Algunas de las especies arbóreas en la categoría Pr reflejan una preocupación sobre el uso como materia prima, *v.g.*, *Olneya tesota* para figuras de palo fierro y leña, *Tabebuia chrysantha* y *T. impetiginosa* para la construcción de casas. Los mangles (*Avicennia germinans*, *Conocarpus erecta*, *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*) merecen protegerse debido al incremento en las amenazas a los hábitats a lo largo de los litorales de México. *Eichhornia azurea* se considera una especie no nativa e invasora de los canales del sur de Sonora. El único registro de *Zinnia violacea* en Sonora fue un error en la identificación de la forma de color morado de *Z. peruviana*.

De las 78 taxones de plantas endémicas de Sonora (tabla 3), tan sólo seis cactus y *Dioon sonorensis* están en la lista de la NOM. La tabla 4b presenta 27 plantas de Sonora que son de importancia para la conservación a nivel federal en Arizona; sólo *Echinomastus erectocentrus* var. *acunensis* está en la lista de la NOM. Estas plantas y los 72 taxones endémicos a Sonora que no están en la lista, así como algunas de las cuasiendémicas del estado y las endémicas de las islas del Golfo deberían ser candidatos en futuras listas de la NOM.

Amenazas a la flora sonorensis

Gran parte del suroeste norteamericano, incluyendo Sonora, la Península de Baja California, las islas del Golfo de California, Arizona, Nuevo México y Chihuahua, destaca porque aún tiene más áreas naturales que la mayoría de las regiones áridas del mundo (Mittermeir *et al.*, 2003). Tenemos inmensas áreas protegidas y dispersas que cruzan las fronteras políticas (Felger y Broyles, 2007). Algunas de estas joyas de servicios ecosistémicos (servicios ambientales) están bien protegidas pero otras no; sin embargo, todas ellas están expuestas a las crecientes amenazas del incremento de la población humana y la urbanización.

Las causas fundamentales de la pérdida de la diversidad biológica en todo el planeta son la destrucción de hábitats y el aumento de la población humana. En Sonora, la pérdida de la biodiversidad natural causada por la perturbación y alteración de las comunidades bióticas naturales se puede observar en la mayor parte del estado. A continuación sólo resaltaremos unos cuantos factores que amenazan la biodiversidad y los hábitats naturales. La literatura y los problemas, por supuesto, son enormes para tratarlos en unos párrafos (véase síntesis por Cartron *et al.*, 2005). La población humana de Sonora creció poco a poco hasta finales del siglo XIX y tuvo un crecimiento notable en la última mitad del siglo XX, pero no de manera uniforme. Los mayores complejos urbanos y costeros se ubican principalmente en las áreas de baja altitud en la porción centro y oeste del estado. La región serrana en las partes más altas de la zona oriental del estado ha permanecido relativamente menos poblada, pero ha sido impactada severamente por la tala generalizada y las operaciones mineras locales pero devastadoras.

Hasta la última mitad del siglo XX la mayor parte de la región costera de Sonora se mantuvo como una de las áreas desérticas más vírgenes del mundo y de gran diversidad biológica. La costa sonorensis está siendo impactada a un ritmo cada vez mayor. Extensas áreas de matorral espinoso en la planicie costera del sur, en los deltas de los ríos Mayo y

Yaqui, fueron desmontadas para la agricultura de gran escala y así convertirse en el área conocida como el «granero» de México. Las granjas camaroneiras han pasado a ser uno de los principales factores en la pérdida del hábitat costero. Los complejos turísticos y habitacionales a orillas de las playas del Golfo de California están proliferando en las áreas de Las Bocas-Camahuiroa en el sur, Bahía de Kino al oeste de Hermosillo y Puerto Peñasco en el noroeste. La carretera costera de Sonora, en construcción mientras escribimos este capítulo, acelerará el desarrollo costero y la pérdida del hábitat. La pérdida de los servicios del ecosistema para la población humana causada por la destrucción del hábitat debe ser evaluada (Martínez *et al.*, en este vol.). El desarrollo costero amenaza a las poblaciones de especies raras como *Ferocactus tiburonensis* y *Grusonia reflexispina*.

La desviación del agua y los repesos fueron lugares comunes en toda la región sonorense por más de un milenio en los tiempos prehistóricos. El impacto en la flora local debe de haber sido significativo, pero las diferencias de entonces a ahora son cuestión de escala. Durante el siglo xx, en cada río que cruza por Sonora se construyeron presas. La mayor parte de los fabulosos bosques de galería y las comunidades ribereñas que bordeaban estos ríos han desaparecido. Los impactos culturales en el río Colorado y el alto Golfo de California son bien conocidos, pero todavía existen grandes huecos de conocimiento. Menos conocidos son los cambios que ocurrieron en los deltas de los ríos Yaqui y Mayo. Estos deltas fueron epicentros de vida; las enormes aportaciones de agua dulce que sustentaron la biomasa y biodiversidad terrestre, de agua dulce y marina, son casi inimaginables en la actualidad. A pesar de esto, la recuperación y restauración ecológica es viable y se está llevando a cabo en menor escala en el Delta del Río Colorado (Nagler *et al.*, 2005). Al igual que en muchas partes del mundo, la incesante demanda de agua dulce a gran escala, para la agricultura y consumo humano, priva a los ecosistemas nativos de su soporte vital.

Es esencial reconocer las implicaciones que tienen los tamaños poblacionales de las especies en

peligro de extinción y las amenazadas, así como la importancia del intercambio de información entre los botánicos, legisladores, organizaciones para la conservación y las agencias encargadas del manejo y aplicación de leyes ecológicas. No se tiene conocimiento sobre especies de plantas de Sonora que se hayan extinguido debido a la actividad humana moderna, pero los tamaños poblacionales de una porción considerable de la flora nativa, ciertamente que se han reducido en forma considerable. Quizás nunca sabremos cuántas especies de plantas fueron extirpadas del Delta del Río Colorado; del mismo modo, es probable que algunas poblaciones raras de especies de Baja California de la costa de Sonora desaparezcan por las secuelas del desarrollo costero.

Hasta cerca de mediados del siglo xx la mayor parte del norte de México dependía de la leña para cocinar y calentar el hogar. Las minas también consumían grandes cantidades de madera para el trabajo en la misma y como combustible para la fundición. Estas demandas resultaron en un uso generalizado y tala no sustentable de los árboles del estado. El cambio a gas natural y electricidad para cocinar y calefacción redujo la tala de madera para consumo doméstico, sólo para ser reemplazado con el uso no sustentable de árboles de leguminosas como el mezquite (*Prosopis*) y palo fierro (*Olneya*) para carbón y tallado de figuras de madera. La tala inmoderada de estas importantes especies tiene severos impactos en los ecosistemas de algunas áreas. Conforme el uso y explotación aumenta, la flora de Sonora está siendo diluida con especies exóticas de otras partes del mundo. En Sonora, las plantas no nativas han aumentado dramáticamente durante los últimos sesenta años, lo cual refleja el crecimiento de la población, las grandes perturbaciones del suelo y un aumento en el movimiento de gente y mercancía. Actualmente, éstas representan cerca de 6.7% (246 taxones, 244 especies) de la flora, principalmente en la Poaceae (68 taxones), Brassicaceae (19 taxones), Fabaceae (15 taxones) y Asteraceae (14 taxones) y por lo general son hierbas (83.1%), especialmente anuales (140 taxones, Van Devender *et al.*, 2009). La mayoría (75.1%)

son de Eurasia y África y las menos (67 taxones) de los trópicos del Nuevo Mundo desde México a América del Sur.

Sólo 15% de las especies no nativas (37 taxones) se consideran invasoras con potencial de dañar los hábitats naturales (tabla 5; Van Devender *et al.*, 2009). En el Desierto Sonorense, la mostaza del Sahara (*Brassica tournefortii*), los zacates mediterráneo y árabe (*Schismus arabicus*, *S. barbatus*), bromo rojo (*Bromus rubens*) y hielitos (*Mesembryanthemum crystallinum*) son invasoras en el noroeste de Sonora. El zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) es una invasora del matorral desértico en la parte centro, costera y norte del estado y en el matorral espinoso de piedemonte en la porción este-centro y sur de Sonora (Búrquez *et al.*, 2002; Van Devender *et al.*, 2009). El zacate africano (*Eragrostis lehmanniana*) y el zacate rosado (*Melinis repens*) son invasoras del pastizal desértico al este y norte del estado. El carrizo (*Arundo donax*), juanloco (*Nicotiana glauca*) y el zacate bermuda o inglés (*Cynodon dactylon*) están reemplazando las especies nativas en hábitats ribereños. El helecho flotador gigante (*Salvinia molesta*) se ha establecido en el río Colorado y en canales de riego.

El impacto de las actividades recreativas, incluyendo el turismo, deben de evaluarse seriamente. Los seres humanos son una especie curiosa y activa, y algunos de sus pasatiempos pueden impactar seriamente los hábitats naturales y la diversidad biológica. Por ejemplo, las travesías fuera de caminos de la mayoría de los vehículos recreativos para todo terreno como cuatrimotos y jeeps son biológicamente destructivas.

Es evidente que se requieren de medidas efectivas basadas en el conocimiento científico para mitigar los daños causados por las actividades humanas. Debemos saber qué tenemos para poder protegerlo. La conservación efectiva se basa en un conocimiento preciso; por eso, el conocimiento florístico es una de las bases de la conservación. Los encargados del manejo de los ecosistemas, los conservacionistas y sus organizaciones, así como los legisladores necesitan información botánica precisa. Existe una necesidad urgente de promover pro-

gramas de educación ambiental que incluya información de alta calidad sobre la historia natural de la flora y fauna de Sonora.

CONCLUSIONES

En resumen, nuestro conocimiento sobre la flora de Sonora es bueno en algunas áreas, moderado en otras y muy pobre o inexistente en una gran parte del territorio. Actualmente se tiene conocimiento de 3 659 taxones de plantas vasculares documentadas para el estado, pero estimamos que por lo menos cuatro mil especies pueden estar presentes y la diversidad es comparable con Chihuahua, Durango, Baja California y Arizona. El porcentaje de plantas endémicas de Sonora es sorprendentemente bajo (2.3% de las especies nativas), lo cual refleja que varias comunidades bióticas de la entidad se comparten con los estados vecinos. El número de especies exóticas es moderadamente bajo (246 taxones, 6.7% de la flora). Aunque sólo 37 de las especies exóticas (15%) son invasoras en hábitats naturales, algunas como el zacate buffel y la mostaza del Sahara tienen el potencial de causar daños severos a los ecosistemas del estado.

McLaughlin (1995) estimó que la región de las islas serranas del sureste de Arizona posee alrededor de 2 100 especies (166 no nativas o 7.9%). Esta riqueza es aproximadamente equivalente a su Distrito Apachense de la Provincia Florística Madreña (McLaughlin, 1992). Las floras del Distrito Apachense tienen la más alta diversidad de especies en el occidente de Estados Unidos, tanto en área como en rango altitudinal (McLaughlin, 1995). Considerando que el sureste de Arizona representa cerca de la mitad de la región de las islas serranas y que hay 255 especies en la sierra El Tigre (White, 1948) no reportadas en Arizona, McLaughlin (1995) estimó de 2 300 a 2 800 taxones de plantas para toda la región de las islas serranas. Este total es quizá más cercano a 3 000-3 500 taxones debido a que la diversidad de especies de plantas aumenta hacia el sur tanto en el matorral espinoso de piedemonte de las tierras bajas y los

bosques de pino-encino de la sierra. Considerando que en Sonora la diversidad de especies de plantas es más alta en la selva baja caducifolia y en los encinales y bosques de pino-encino, quizás de sesenta a setenta por ciento del total de la flora de Sonora ocurre en el tercio oriental del estado.

Los futuros botánicos tendrán grandes oportunidades de enriquecer el conocimiento de la flora a través de documentar extensiones del rango de distribución y el descubrimiento de especies nuevas para la ciencia, al hacer inventarios en áreas sin explorar. Éstas incluyen las áreas tropicales del sur de Sonora cerca de la frontera con Sinaloa, los encinales y bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental a lo largo de la frontera con Chihuahua y las islas serranas del Archipiélago Madreño, los bosques mixtos de coníferas de las cumbreras más altas cerca de la frontera con Arizona, la zona fronteriza del noreste del estado, especialmente los pastizales y el Desierto Chihuahuense, y las sierras del desierto cerca de la costa, entre otras. La lista que presentamos en el apéndice (véase disco compacto) es para los taxones documentados con ejemplares y continuaremos aumentándola conforme se compilen los datos de colectas de otros taxones reportados para el estado y se descubren especies adicionales.

Creemos que cada día es más urgente la conservación y manejo de áreas naturales protegidas, la protección de especies raras y amenazadas, la vigilancia y control de especies exóticas e invasoras y una educación ambiental de calidad conforme la población humana sigue creciendo y aumenta la urbanización y la destrucción de hábitats.

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este capítulo a John R. y Charlotte G. Reeder, Paul S. Martin y Raymond M. Turner en reconocimiento a sus extraordinarias contribuciones al conocimiento de la flora de Sonora.

Agradecemos a Paul S. Martin, George M. Ferguson, Andrew C. Sanders, Samuel L. Friedman, Mark A. Dimmitt, Exequiel Ezcurra, Padre Gui-

llermo Trauba, Don Rubén y Doña Ubelina Coronado, Benjamin Wilder, Michael F. Wilson, Alberto Búrquez, Shelley McMahon, Lloyd Findley, David A. Yetman, Silke Schneider, Gil Gillenwater y Bob Minckley por su asistencia en el campo.

También a Ed Gilbert y Les Landrum, Rafael Corral-Díaz, Socorro González-Elizondo, Jon Reberman y José Luis León de la Luz por proporcionarnos las estimaciones actuales de los taxones de plantas para Arizona, Chihuahua, Durango, Baja California y Baja California Sur. A María de los Ángeles Quintana y José Martínez, del Instituto de Ecología-UNAM en Hermosillo, quienes transcribieron las listas de plantas de la literatura a archivos Excel y nos proporcionaron de esta forma la base para la lista de plantas de Sonora elaborada para este capítulo.

Agradecemos igualmente a los taxónomos especialistas que identificaron nuestras colectas y nos asesoraron sobre taxonomía actual, entre ellos: Thomas F. Daniel (Acanthaceae), Guy Nesom y Billie L. Turner (Asteraceae), Andrew Salywon (Brassicaceae), Marc Baker y Donald J. Pinkava (Cactaceae), Ronald Hartman (Caryophyllaceae), Daniel F. Austin y Mihai Costea (Convolvulaceae), Gordon Tucker, Socorro González (Cyperaceae), Clara H. Ramos y Esteban Martínez-Salas (Cucurbitaceae), Victor W. Steinmann (Euphorbiaceae), Rosaura Grether, Richard Spellenberg, Alfonso Delgado-Salinas y Leticia Torres-Colín (Fabaceae), George Yatskievych (helechos), María del Rosario García-Peña (Lamiaceae), William Anderson (Malpighiaceae), Paul A. Fryxell (Malvales), Tom Todsen (Orchidaceae), Charlotte Goodding Reeder, John R. Reeder, Paul Peterson y Rob Soreng (Poaceae), David Lorence (Rubiaceae) y Mahinda Martínez y Aarón Rodríguez (Solanaceae).

Asimismo, nuestro agradecimiento a los botánicos de diversos herbarios por su asistencia con registros, información, préstamos, manejo y montaje de ejemplares, entre ellos: Debra Tock y Thomas F. Daniel (California Academy of Sciences), Celia Bujdud (Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero), Richard Spellenberg (New Mexico State University), Sula Vanderplank

(Rancho Santa Ana Botanical Garden), Jon Reberman y Judy Gibson (San Diego Natural History Museum), Rob Soreng y Paul Peterson (Smithsonian Institution), Michelle McMahon, Phil Jenkins, Brad Boyle y Gene Hall (University of Arizona), Alfonso Delgado-Salinas y Leticia Torres-Colín (Universidad Nacional Autónoma de México), Andrew C. Sanders (University of California at Riverside), Rich Rabeler y Paul Berry (University of Michigan) y Tom Wendt y Billie Turner (University of Texas at Austin).

Agradecemos especialmente a Emily Lott, Socorro González-Elizondo, Brad Boyle, Ben Wilder y Edward E. Gilbert por revisar y editar cuidadosamente este manuscrito, así como a la Horace Miller/Ginny Saylor Publication Grant, a través de la Arizona Native Plant Society, por los fondos proporcionados para la traducción.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, E.F. 2001. *The Cactus Family*. Timber Press, Portland, Oregon.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. 1998. An Ordinal Classification for the Families of Flowering Plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 85: 531-553.
- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. 2003. An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141: 399-436.
- AXELROD, D.I. 1979. Age and Origin of the Sonoran Desert. *California Academy of Sciences Papers* 132: 1-74.
- BEETLE, A.A., D.J. JOHNSON, A. NAVARRO y R. ALCAZAR. 1991. *Gramíneas de Sonora*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Hermosillo, Sonora, México.
- BENSON, L.D. 1982. *The Cacti of the United States and Canada*. Stanford University Press, Stanford, California.
- BOWERS, J.B. 1988. *A Sense of Place: The Life and Work of Forrest Shreve*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- BRAVO-HOLLIS, H. 1978. *Las cactáceas de México*. Vol. 1. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- BRAVO-HOLLIS, H. y H. SÁNCHEZ-MEJORADA. 1991a. *Las cactáceas de México*. Vol. 2. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- BRAVO-HOLLIS, H. y H. SÁNCHEZ-MEJORADA. 1991b. *Las cactáceas de México*. Vol. 3. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- BRITTON, N.L. y J.N. ROSE. 1919-1923. The Genus *Cereus* and Its Allies in North America. 4 vols. *Contributions of the United States National Herbarium* 12: 413-437.
- BROWN, D.E. 1982. Sinaloan Thornscrub. *Desert Plants* 4: 101-105.
- BROWN, D.E. y C.H. LOWE. 1980. *Biotic Communities of the Southwest*. US Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report, RM-78 (map) Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado.
- BURNS, H. 1936. *Life and Work of Cyrus Guernsey Pringle*, Free Press Printing Co., Burlington, Vermont.
- BÚRQUEZ, A., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR, R.S. FELGER y D. YETMAN. 1999. Vegetation and Habitat Diversity at the Southern Edge of the Sonoran Desert. En: R.H. Robichaux, ed. *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 36-67.
- BÚRQUEZ, A., M.E. MILLER y A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 2002. Mexican Grasslands, Thornscrub, and the Transformation of Sonoran Desert by Invasive Exotic Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) En: B. Tellman, ed. *Invasive Exotic Species in the Sonoran Region*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 126-146.
- BURRUS, E.J. 1954. *Kino Reports to Headquarters: Correspondence of Eusebio F. Kino, S.J., from New Spain with Rome*. Institutum Historicum Societatis Jesuit, Roma.
- BURRUS, E.J. 1971. *Kino and Manje: Explorers of Sonora and Arizona*. Jesuit Historical Institute, Roma.
- CARTRON, J-L.E., G. CEBALLOS y R.S. FELGER, eds. 2005. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York.
- COVILLE, F.V. 1895. The Botanical Explorations of Thomas Coulter in Mexico and California. *Botanical Gazette* 20: 519-531.
- CRAIG, R.T. 1945. *The Mammillaria Handbook*. Abbey Gardens Press, Pasadena, California.
- CRONQUIST, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press, Nueva York.
- DIGUET, L. 1928. *Les cactacees utiles du Mexique*. Vol. 4.

- Archives d'Histoire Naturelle, Société Nationale d'Acclimation de France, París.
- EMORY, W.H. 1857-1859. Report of the United States and Mexican Boundary Survey. 2 vol. *House of Representatives Executive Document* 135, serial 862. Washington, D.C.
- FARJON, A. y B.T. STYLES. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monograph* 75, New York Botanical Garden, Nueva York.
- FELGER, R.S. 1999. Flora of Cañón Nacapule: A Desert-Bounded Tropical Canyon Near Guaymas, Sonora. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History* 35.
- FELGER, R.S. 2000. *Flora of the Gran Desierto and Rio Colorado of Northwestern Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- FELGER, R.S. 2007. Living Resources at the Center of the Sonoran Desert: Native American Plant and Animal Utilization. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry Borders*. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah, pp. 147-192.
- FELGER, R.S., M.B. JOHNSON y M.F. WILSON. 2001. *The Trees of Sonora, Mexico*. Oxford University Press, Nueva York.
- FELGER, R.S. y A.D. ZIMMERMAN. 2000. Cactaceae Cactus Family. En: R.S. Felger. *Flora of the Gran Desierto and Rio Colorado of Northwestern Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 194-226.
- FELGER, R.S. y B. BROYLES, eds. 2007. *Dry Borders*. University of Utah Press, Salt Lake City, Utah.
- FELGER, R.S. y C.H. LOWE. 1976. The Island and Coastal Vegetation and Flora of the Northern Part of the Gulf of California. *Contributions in Science, Natural History Museum of Los Angeles* 285: 1-59.
- FELGER, R.S. y E. JOYAL. 1999. The Palms (Arecaceae) of Sonora, Mexico. *Aliso* 18: 1-18.
- FELGER, R.S. y M.F. WILSON. 1995. Northern Sierra Madre Occidental and its Apachian Outliers. En: L.F. DeBano, G.J. Gottfried, R.H. Hamre, C.B. Edminster, P.F. Ffolliott y A. Ortega-Rubio (coords.) *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico*. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station and Experiment Range Station, General Technical Report, RM-GTR-264, Fort, Collins, Colorado. pp. 36-59.
- FISHBEIN, M., R.S. FELGER y F. GARZA. 1995. Another Jewel in the Crown: A Report on the Flora of the Sierra de los Ajos, Sonora, Mexico. En: L.F. DeBano, P.F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, Gerald J., R.H. Hamre y C.B. Edminster (coords.) *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: the Sky Islands of Southwestern United States and Northern Mexico*. USDA General Technical Report, RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado, pp. 126-134.
- FLORA OF NORTH AMERICA EDITORIAL COMMITTEE, eds. 1993. *Flora of North America North of Mexico*. 12 vols. Oxford University Press, Nueva York.
- FRIEDMAN, S.L. 1996. *Vegetation and Flora of the Coastal Plains of the Rio Mayo Region, Southern Sonora, Mexico*. M.S. tesis, Arizona State University, Tempe, Arizona.
- GENTRY, A. 1995. Diversity and Floristic Composition of Neotropical Dry Forests. En: S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina, eds. *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press, Nueva York, pp. 146-194.
- GENTRY, H.S. 1942. Rio Mayo Plants. A Study of the Rio Mayo, Sonora. *Carnegie Institution of Washington Publication* 527, Washington, D.C.
- GENTRY, H.S. 1964. Cucurbitaceae. En: I.L. Wiggins. *Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, California, pp. 1417-1434.
- GENTRY, H.S. 1972. The Agave Family in Sonora. *United States Department Agricultural Research Service, Agriculture Handbook* 399: 1-195.
- GENTRY, H.S. 1982. *Agaves of Continental North America*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- GOLDBERG, D.E. 1982. The Distribution of Evergreen and Deciduous Trees Relative to Soil Type: An Example from the Sierra Madre, Mexico, and a General Model. *Ecology* 63: 942-951.
- GONZÁLEZ-ELIZONDO, M., S. GONZÁLEZ-ELIZONDO E Y. HERREA-ARRIETA. 1991. *Listados florísticos de México. IX. Flora de Durango*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- HITCHCOCK, A.S. 1913. Mexican Grasses in the United States National Herbarium. *Contributions from the United States National Herbarium* 17: 181-389.
- HODGSON, W. 2001 *Food Plants of the Sonoran Desert*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- HORNADAY, W.T. 1908. *Camp-Fires on Desert and Lava*. Charles Scribner's Sons, Nueva York. Reimpresión 1983. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- HUNTER, K.L., J.L. BETANCOURT, B.R. RIDDLE, T.R. VAN DEVENDER, K.L. COLE y W.G. SPAULDING. 2001.

- Ploidy Race Distributions Since the Last Glacial Maximum in the North American Desert Shrub, *Larrea tridentata*. *Global Ecology and Biogeography* 10: 521-533.
- JOHNSTON, I.M. 1924. Expedition of the California Academy of Sciences to the Gulf of California in 1921: the Botany (vascular plants). *Proceedings of the California Academy of Sciences*, series 4, 12: 951-1218.
- KEARNEY, T.H. y R.H. PEEBLES. 1964. Arizona Flora. University of California, Berkeley, California.
- LENZ, L.W. 1986. *Marcus E. Jones: Western Geologist, Mining Engineer and Botanist*. Rancho Santa Ana Botanic Garden, Claremont, California.
- LEOPOLD, E.B., G. LIU y S. CLAY-POOLE. 1992. Low-Biomass Vegetation in the Oligocene. En: D.R. Prothero y W.A. Berggren, eds. *Eocene-Oligocene Climatic and Biotic Evolution*. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, pp. 399-420.
- LUMHOLTZ, C.S. 1902. Unknown Mexico: *A Record of Five Years' Exploration among the Tribes of the Western Sierra Madre; in the Tierra Caliente of Tepic and Jalisco; and among the Tarascos of Michoacán*. Charles Scribner's Sons, Nueva York.
- LUMHOLTZ, C.S. 1912. *New Trails in Mexico*. Scribner, Nueva York.
- MALDONADO, J.L. y M.A. PUIG-SAMPER. 2000. La aventura ultramarina de Sessé y Mociño. La real expedición botánica a Nueva España (1787-1803) En: M.P. San Pío Alardeen y M.A. Puig-Samper, eds. *El águila y el nopal. La expedición de Sessé y Mociño a Nueva España (1787-1803)* Lunwerg, Barcelona, pp. 35-52.
- MARSHALL, J.T., JR. 1957. Birds of the Pine-Oak Woodland in Southern Arizona and Adjacent Mexico. *Cooper Ornithological Society, Pacific Coast Avifauna* 32: 1-125.
- MARTIN, P.S., D. YETMAN, M. FISHBEIN, P. JENKINS, T.R. VAN DEVENDER y R.K. WILSON. 1998. *Gentry's Rio Mayo Plants. The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- MCLAUGHLIN, S.P. 1989. Natural Floristic Areas of the Western United States. *Journal of Biogeography* 16: 239-248.
- MCLAUGHLIN, S.P. 1992. Are Floristic Areas Hierarchically Arranged? *Journal Biogeography* 19: 21-32.
- MCLAUGHLIN, S.P. 1995. An Overview of the Flora of the Sky Islands, Southeastern Arizona: Diversity, Affinities, and Insularity. En: L.F. DeBano, P.F. Ffollott, A. Ortega Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre y C.B. Edminster (coords.) *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico*. USDA Forest Service, General Technical Report, RM GTR 264, pp. 60-70.
- MCVAUGH, R. 1956. *Edward Palmer, Plant Explorer of the American West*. University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma.
- MCVAUGH, R. 2000. *Botanical Results of the Sessé and Mociño Expedition (1787-1803)*. VII. *A Guide to Relevant Scientific Names of Plants*. Hunt Institute for Botanical Documentation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pensilvania.
- MEARNS, E.A. 1907. Mammals of the Mexican Boundary of the United States. A Descriptive Catalogue of the Species of Mammals Occurring on that Region; With a General Summary of the Natural History, and a List of Trees. Smithsonian Institute. *Bulletin of the United States National Museum* 56, Washington, D.C.
- MITTERMEIER, R.M., C.G. MITTERMEIER, T.M. BROOKS, J.D. PILGRIM, W.R. KONSTANT, G.A.B. DA FONSECA y C. KORMOS. 2003. Wilderness and Biodiversity Conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100: 10309-10313.
- NAGLER, P.L., O. HINOJOSA-HUERTA, E.P. GLENN, J. GARCÍA-HERNÁNDEZ, R. ROMO, C. CURTIS, A.R. HUETE y S.G. NELSON. 2005. Regeneration of Native Trees in the Presence of Invasive Saltcedar in the Colorado River Delta, Mexico. *Conservation Biology* 19: 1842-1852.
- NATURE SERVE. 2002. States of the Union. Ranking America's Biodiversity. *Report to The Nature Conservancy*.
- NENTVIG, J. (1764) 1971. *Descripción geográfica, natural y curiosa de la provincia de Sonora. Por un amigo del servicio de Dios y de el Rey Nuestro Señor*. Publicación del Archivo General de la Nación, México.
- NOM. 2002. NOM-059-ECOL-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.
- PAREDES-AGUILAR, R., T.R. VAN DEVENDER y R.S. FELGER. 2000. *Cactáceas de Sonora: su diversidad, uso y conservación*. Arizona-Sonora Desert Museum Press, Tucson.
- PARFITT, B.D. y A.C. GIBSON. 2003. Cactaceae Jussieu. Cactus Family. En: *Flora of North America* Editores

- rial Committee, eds. *Flora of North America North of Mexico. Vol. 4. Magnoliophyta: Caryophyllidae, part 1*. Oxford University Press, Nueva York y Oxford, pp. 92-257.
- PEFFERKORN, I. 1949. Sonora, a Description of the Province. *Coronado IV Centennial Publication*. Vol. 12. University of New Mexico Press, Albuquerque, Nuevo México.
- PINKAVA, D.J. 2003. Cactaceae Jussieu Subfam. Opuntioideae Burnett, *Outlines Bot.* 2: 742, 1130. 1835 (as Opuntidae) En: *Flora of North America Editorial Committee, eds. Flora of North America North of Mexico. Vol. 4. Magnoliophyta: Caryophyllidae, part 1*. Oxford University Press, Nueva York y Oxford, pp. 102-150.
- PORTER, S.C. 1989. Some Geological Implications of Average Quaternary Glacial Conditions. *Quaternary Research* 32: 245-261.
- REINA-GUERRERO, A.L. y T.R. VAN DEVENDER. 2005. Floristic Comparison of an Arizona 'Sky Island' and the Sierra Madre Occidental in Eastern Sonora: the Huachuca Mountains and the Yecora Area. En: G.J. Gottfried, B.S. Gebow, L.G. Eskew y C.B. Edminster, comps. *Connecting Mountain Islands and Desert Seas: Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago II*. Proceedings RMRS-P-36, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp. 154-157.
- ROALSON, E.H. 1999. *Eleocharis yecorensis* (Cyperaceae), a New Species of Spike-Sedge from Mexico. *Aliso* 18: 57-60.
- ROSE, J.N., 1895. Report on a Collection of Plants Made in the States of Sonora and Colima, Mexico, by Dr. Edward Palmer, in the years 1890 and 1891. *Contributions from the United States National Herbarium* 1: 293-367.
- ROSE, J.N. 1911. Exploration in the Southwestern States and West Coast of Mexico. *Journal New York Botanic Garden* 12: 253-256.
- ROSE, J.N. y P.C. STANDLEY. 1912. Report on a Collection of Plants from the Pinacate Region of Sonora. *Contributions from the United States National Herbarium* 16: 5-20.
- RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México.
- RZEDOWSKI, J. y G. CALDERÓN DE RZEDOWSKI. 1998. Dos especies de *Ambrosia* (Compositae, Heliantheae) adventicias en el centro de México. *Acta Botánica Mexicana* 43: 57-66.
- SÁNCHEZ-ESCALANTE, J.J., M. ESPERICUETA-BETANCOURT y R.A. CASTILLO-GAMEZ. 2005. A Preliminary Floristic Inventory in the Sierra de Mazatán, Municipios of Ures y Mazatán, Sonora, México. En: G.J. Gottfried, B.S. Gebow, L.G. Eskew y C.B. Edminster, comps. *Connecting Mountain Islands and Desert Seas: Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago II*. Proceedings. RMRS-P-36, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp. 118-126.
- SHREVE, F. 1964. Vegetation of the Sonoran Desert. En F. Shreve e I.L. Wiggins. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, Stanford, California, pp. 9-186.
- SOUTHWEST ENVIRONMENTAL INFORMATION NETWORK. 2009. <http://swbiodiversity.org/seinet/collections/index.php>. Consultada en abril de 2009).
- SPELLENBERG, R.S., T. LEBGUE y R. CORRAL D. 1996. A Specimen-Based, Annotated Checklist of the Plants of Parque Nacional «Cascada de Basaseachi» and Immediately Adjacent Areas, Southwestern Chihuahua, México, XIII. *Listados Florísticos de México*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- STEINMANN, V.W. y R.S. FELGER. 1997. The Euphorbiaceae of Sonora. *Aliso* 16: 1-71.
- SWALLEN, J.R. 1964. Gramineae. En I.L. Wiggins, *Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, Stanford, pp. 237-301.
- TAKHTAJAN, A. 1997. *Diversity and Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press, Nueva York.
- THIERS, B.M. 2009. Index Herbariorum: A Global Directory of Public Herbaria and Associated Staff. New York Botanical Garden, Nueva York (<http://sciweb.nybg.org/science2/IndexHerbariorum.asp>).
- THORNE, R.F. 1992. Classification and Geography of Flowering Plants. *The Botanical Review* 58: 225-348.
- TURNER, R.M., J.E. BOWERS y T.L. BURGESS. 1995. Sonoran Desert Plants. *An Ecological Atlas*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- TURNER, R.M. y D.E. BROWN. 1982. Sonoran Deserts-crub. *Desert Plants* 4: 121-181.
- VAN DEVENDER, T.R. 1990. Late Quaternary Vegetation and Climate of the Sonoran Desert, United States and Mexico. En: J.L. Betancourt, T.R. Van Devender y P.S. Martin, eds. *Packrat Middens. The Last 40,000 Years of Biotic Change*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 134-165.
- VAN DEVENDER, T.R. 2002. Environmental History of the Sonoran Desert. En: T.H. Fleming y A. Valien-

- te B., eds. *Evolution, Ecology and Conservation of Columnar Cacti and their Mutualists*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 3-24.
- VAN DEVENDER, T.R., A.C. SANDERS, R.K. WILSON y S.A. MEYER. 2000. Vegetation, Flora, and Seasons of the Rio Cuchujaqui, a Tropical Deciduous Forest Near Alamos, Sonora, Mexico. En: R.H. Robichaux y D.A. Yetman, eds. *The Tropical Deciduous Forest of Alamos: Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, pp. 36-101.
- VAN DEVENDER, T.R., A.L. REINA-GUERRERO, M.C. PEÑALBA y C. ORTEGA. 2003. The Ciénega de Camilo: A Threatened Habitat in the Sierra Madre Occidental of Eastern Sonora, Mexico. *Madroño* 50: 187-195.
- VAN DEVENDER, T.R., J.R. REEDER, C.G. REEDER y A.L. REINA-GUERRERO. 2005. Distribution and Diversity of Grasses in the Yecora Region of the Sierra Madre Occidental of Eastern Sonora, Mexico. En: J-L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York, pp. 107-121.
- VAN DEVENDER, T.R., R.S. FELGER, A.L. REINA-GUERRERO y J. JESÚS SÁNCHEZ-ESCALANTE. 2009. Sonora: Non-Native and Invasive Plants. En: T.R. Van Devender, F.J. Espinosa-García, B.L. Harper-Lore y T. Hubbard, eds. *Invasive Plants on the Move. Controlling them in North America*. Proceedings of Weeds Across Borders 2006 Conference, Hermosillo, Sonora, Mexico, mayo 25-28, 2006, Tucson, Arizona.
- VAN DEVENDER, T.R., T.L. BURGESS, J.C. PIPER y R.M. TURNER. 1994a. Paleoclimatic Implications of Holocene Plant Remains from the Sierra Bacha, Sonora, Mexico. *Quaternary Research* 41: 99-108.
- VAN DEVENDER, T.R., C.H. LOWE y H.E. LAWLER. 1994b. Factors Influencing the Distribution of the Neotropical Vine Snake *Oxybelis aeneus* in Arizona and Sonora, Mexico. *Herpetological Natural History* 2: 27-44.
- VAN DEVENDER, T.R. y A.L. REINA-GUERRERO. 2005. The Forgotten Flora of la Frontera. En: G.J. Gottfried, B.S. Gebow, L.G. Eskew y C.B. Edminster, comps. *Connecting Mountain Islands and Desert Seas: Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago II*. Proceedings RMRS-P-36, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp. 158-161.
- VASEY, G. y J.N. ROSE. 1890. List of Plants Collected by Dr. Edward Palmer in Lower California and Western Mexico in 1890. *Contributions from the United States National Herbarium* 1: 63-90.
- WARSHALL, P. 1995. The Madrean Sky Island Archipelago: a Planetary Overview. En: G Gottfried, R.H. Hamre, C.B. Edminster, P.F. Ffolliott y A. Ortega-Rubio, coords. *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northwestern Mexico*. USDA Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, Fort Collins, Colorado, pp. 6-18.
- WATSON, S. 1885. Descriptions of Some New Species of Plants. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 20: 352-378.
- WATSON, S. 1889. Upon a Collection of Plants Made by Dr. E. Palmer in 1887 About Guaymas, etc. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 24: 36-82.
- WHITE, S.S. 1948. The Vegetation and Flora of the Region of the Rio Bavispe in Northeastern Sonora, Mexico. *Lloydia* 11: 229-302.
- WIGGINS, I.L. 1964. Flora of the Sonoran Desert. En: F. Shreve e I.L. Wiggins. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*, Stanford University Press, California, pp. 188-1740.
- WIGGINS, I.L. 1980. *Flora of Baja California*. Stanford University Press, California.
- WILDER, B.T. 2007. New Plant Discoveries for Sonoran Islands, Gulf of California, Mexico. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 1: 1203-1227.
- WINOGRAD, I.J., J.M. LANDWEHR, K.R. LUDWIG, T.B. COPLIN y A.C. RIGGS. 1997. Duration and Structure of the Past four Interglaciations. *Quaternary Research* 48: 141-154.
- WOLFE, J.A. y D. HOPKINS. 1967. Climatic Changes Recorded by Tertiary Land Floras in Northwestern North America. En: K. Hatai, ed. *Tertiary Correlations and Climatic Changes in the Pacific, Symposium, 11th Pacific Scientific Congress*, Tokio, Japón, pp. 67-76.
- YATSKIEVYCH, G. y P.C. FISCHER. 1983. Plant Records from the Sonoran Desert. *Desert Plants* 5: 180-185.
- YETMAN, D. 2006. *The Organ Pipe Cactus*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- YETMAN, D. 2007. *The Great Cacti: Ethnobotany and Biogeography*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- YETMAN, D.A. y T.R. VAN DEVENDER. 2002. Mayo Ethnobotany. Land, History, and Traditional Knowledge in Northwest Mexico. University of California Press, Berkeley.

Tabla 1. Familias de plantas con cuarenta o más taxones (en paréntesis) en Sonora

Asteraceae (513)
Poaceae (360)
Fabaceae (344)
Euphorbiaceae (149; excluye Phyllanthaceae, Putranjivaceae)
Malvaceae (130; incluye Bombacaceae, Sterculiaceae y Tiliaceae)
Cactaceae (107)
Cyperaceae (91)
Convolvulaceae (82)
Boraginaceae (81; incluye Hydrophyllaceae)
Solanaceae (80)
Apocynaceae (78; incluye Asclepiadaceae)
Lamiaceae (71)
Amaranthaceae (69; incluye Chenopodiaceae)
Pteridaceae (69)
Brassicaceae (56)
Rubiaceae (53)
Plantaginaceae (45; incluye varias clasificadas anteriormente como Scrophulariaceae)
Orchidaceae (47)
Acanthaceae (43)
Agavaceae (42)
Cucurbitaceae (42)
Verbenaceae (41)

Tabla 2. Géneros con veinte o más taxones (en paréntesis) en Sonora

<i>Euphorbia</i> , Euphorbiaceae (77)
<i>Cyperus</i> , Cyperaceae (49)
<i>Muhlenbergia</i> , Poaceae (48)
<i>Ipomoea</i> , Convolvulaceae (42)
<i>Dalea</i> , Fabaceae (36)
<i>Agave</i> , Agavaceae (30)
<i>Desmodium</i> , Fabaceae (30)
<i>Quercus</i> , Fagaceae (30)
<i>Asclepias</i> , Apocynaceae (28)
<i>Salvia</i> , Lamiaceae (28)
<i>Cheilanthes</i> , Pteridaceae (26)
<i>Erigeron</i> , Asteraceae (23)
<i>Brickellia</i> , Asteraceae (22)
<i>Panicum</i> , Poaceae (22)
<i>Physalis</i> , Solanaceae (22)
<i>Aristida</i> , Poaceae (21)
<i>Astragalus</i> , Fabaceae (20)
<i>Echinocereus</i> , Cactaceae (20)
<i>Eragrostis</i> , Poaceae (20)
<i>Solanum</i> , Solanaceae (20)

Tabla 3. Plantas endémicas de Sonora (no incluye islas)

<i>Acmispon</i> (<i>Lotus</i>) sp. nov. (L. Brouille, sin publ.) Mesa del Campanero al sur de Yécora.
<i>Adelia cinerea</i> (Wiggins y Rollins) Cerv., V.W. Steinm. y Flores-Olivera. Sierra Libre a Ónavas y Sahuaripa en el sur-centro de Sonora.
<i>Agave colorata</i> Gentry. Oeste de Sonora norte de Guaymas.
<i>Agave felgeri</i> Gentry. Oeste de Sonora norte de Guaymas.
<i>Agave fortiflora</i> Gentry. Sierra Jojoba y Sierrita de López al este de Puerto Libertad en el noroeste de Sonora.
<i>Agave ocahui</i> Gentry var. <i>longifolia</i> Gentry. Sierra de Má-tape.
<i>Agave ocahui</i> Gentry var. <i>ocahui</i> . Huásabas a Magdalena de Kino en el centro de Sonora.
<i>Agave parviflora</i> Torr. ssp. <i>flexiflora</i> Gentry. Desde el área de Mátape a Moctezuma hacia el este al área de Nácori Chico a Huásabas en el este de Sonora.
<i>Agave pelona</i> Gentry. Área de la sierra del Viejo en el noroeste de Sonora.
<i>Agave shrevei</i> Gentry spp. <i>matapensis</i> Gentry. Área de Mátape (Villa Pesqueira).
<i>Ageratina sandersii</i> B.L. Turner. Áreas de Yécora y Álamos.
<i>Aloysia sonorensis</i> Moldenke. Sur de Sonora.
<i>Apodanthera palmeri</i> S. Watson. Centro de Sonora.
<i>Argyrochosma lumboltzii</i> (Maxon y Weath.) Windham. La Brisca, noreste de Cucurpe.
<i>Astragalus</i> sp. nov. (R. Spellenberg, sin publ.). Mesa del Campanero al sur de Yécora.
<i>Batesimalva stipulata</i> Fryxell. Sierra de Álamos.
<i>Boerhavia traubae</i> Spellenb. Cerca de Yécora.
<i>Briquetia sonorensis</i> Fryxell. Sur de Sonora.
<i>Caesalpinia pumila</i> (Britt. y Rose) Hermann. Centro de Sonora.
<i>Cheilanthes yatskievychiana</i> Mickel. Cerca de San Javier.
<i>Citharexylum shrevei</i> Moldenke. Sierra Picu al noreste de Puerto Libertad.
<i>Condalia sonorensis</i> Henrickson. Norte-Centro de Sonora.
<i>Coreocarpus sonoranus</i> Sherff var. <i>librensis</i> B.L. Turner. Sierra Libre al sur de Hermosillo.
<i>Cottisia linearis</i> (Wiggins) W.R. Anderson y C. Davis. Centro de Sonora.
<i>Croton subjuncundus</i> Croizat. Sur de Sonora.
<i>Croton yecorensis</i> V.W. Steinm. y Felger. Cerca de Yécora.
<i>Dalea analiliana</i> Spellenb. Cerca de Yécora.
<i>Dalea</i> sp. nov. (R.S. Felger, sin publ.) Sierra Libre al sur de Hermosillo.
<i>Dioon sonorensis</i> (DeLuca, Sabato y Vázq.) Chemnick, Gregory y Salas-Morales. Sierra de Mazatán al área de

Álamos en el centro y sur de Sonora.
Echinocereus bristolii W.T. Marshall. Soyopa.
Echinocereus engelmannii (Parry ex Engelm.) Lem. ssp. *llanuraensis* (J. Rutow) Felger. Cerca de Guaymas.
Echinocereus klapperi W. Blum. El Novillo, Sierra de Mazatán.
Echinocereus lauii G.R.W. Frank. El Trigo suroeste de Maycoba.
Erigeron jenkinsii G.L. Nesom. Santa Bárbara noreste de Álamos.
Erigeron reinana G.L. Nesom. Mesa del Campanero al sur de Yécora.
Euphorbia alatocaulis V.W. Steinm. y Felger. Sureste de Sonora.
Euphorbia sp. nov. (V.W. Steinmann, sin publ.) Este de Yécora.
Galactia sp. nov. (P.D. Jenkins, sin publ.) Sierra Libre al sur de Hermosillo.
Gonolobus sp. nov. aff. *uniflorus* (M. Fishbein, sin publ.) Cerca de Álamos.
Gossypium turneri Fryxell. Área de San Carlos.
Grusonia marenae (W.E. Parsons) E.F. Anderson. Desde Caborca a Bahía de Kino.
Grusonia reflexispina (Wiggins y Rollins) E.F. Anderson. Sur de Bahía de Kino.
Hedyotis sp. nov. (D.H. Lorence, sin publ.) Sierra El Aguaje.
Hesperaloe nocturna Gentry. Sierra Babiso sureste de Magdalena de Kino a la Sierra del Tigre en el noreste de Sonora.
Horsfordia exalata Fryxell. Cerro Prieto este de Navojoa.
Hymenocallis clivorum Laferrière. Agua Amarilla oeste de Tepoca y Sierra de Álamos.
Ipomoea seaania Felger y Austin. Sierra El Aguaje, cerca de San Carlos.
Juniperus mucronata R.P. Adams. Área de Yécora.
Krameria sonora Britt. Sur de Sonora.
Leucophyllum madrense (Henrickson y Van Devender, inéd.) Cerca de Santa Bárbara en el noreste de Álamos.
Lycium californicum A. Gray ssp. *carinatum* (S. Watson) Felger y C.H. Lowe. Oeste-centro de Sonora.
Mammillaria bocensis Craig. Cerca de Las Bocas al sur de Navojoa.
Mammillaria boolii G.E. Linds. Desde San Carlos a Bahía San Pedro.
Mammillaria johnstonii Orcutt. Desde Guaymas a la sierra Libre hacia el sur a Hermosillo.
Mammillaria saboae Glass ssp. *goldii* (Glass y Foster) D.R. Hunt. Agua Prieta a Nacoziari de García.
Mammillaria saboae Glass ssp. *haudeana* (A.B. Lau y

Wagner) D.R. Hunt. Área de Yécora.
Mammillaria yaquensis Craig. Planicie costera en el sur de Sonora.
Mandevilla nacapulensis (Felger y Henrickson) A. Simões, L.S. Kinoshita-Gouvêa y M. Endress. Sierra El Aguaje cerca de San Carlos.
Matelea sp. nov. aff. *hastatula* (M. Fishbein, sin publ.) Al sur de Navojoa en el sur de Sonora.
Matelea sp. nov. aff. *producta* (M. Fishbein, sin publ.) Porción este centro hacia el sur de Sonora.
Melampodium moctezumum B.L. Turner. Cerca de Moctezuma.
Menodora yecorana T.R. Van Devender y B.L. Turner. Cerca de Yécora.
Mimulus yecorensis Vickery. Cerca de Yécora.
Mortonia sp. nov. (J. Henrickson, sin publ.) Este de Maycoba.
Pectis vandevenderi. Cerca de Yécora.
Perityle reinana B.L. Turner. Sierra de Mazatán.
Perityle vandevenderi B.L. Turner. Cañón de la Palma al sureste de Magdalena de Kino.
Physalis purpurea Wiggins. Área de Guaymas.
Portulaca yecorensis Henrickson y T.R. Van Devender. Cerca de Yécora.
Pseudognaphalium sp. nov. (G.L. Nelson, sin publ.) Cerca de Maycoba.
Senecio pinacatensis Felger. Sierra Pinacate.
Schoepfia shreveana Wiggins. Sur de Sonora.
Stenaria sanchezii (Lorence). Sierra El Aguaje.
Suaeda puertopenascoa C. Watson y Ferren. Área de Puerto Peñasco.
Tridax yecorana B.L. Turner. Cerca de Yécora.
Verbesina felgeri B.L. Turner. Sierra el Aguaje al norte de San Carlos.
Vernonia joyaliae B.L. Turner. Cerca de Santa Bárbara al noreste de Álamos.
Yucca declinata Laferrière. Sur de Huachinera.

Tabla 4a. Lista anotada de plantas sonorenses de importancia para la conservación. Especies en la lista de la norma oficial NOM-O59-ECOL-2001 (NOM 2002)

E: probablemente extinta, P: en peligro de extinción, A: amenazada y Pr: sujeta a protección especial, ** = exótica, especie no nativa, ø = cambios taxonómicos

Abies concolor (Pr). El pinabete es un árbol que en Sonora sólo se conoce del bosque mixto de coníferas de la

- sierra de los Ajos y la sierra El Tigre (Felger *et al.*, 2001; White, 1948).
- Agave parviflora* (A). Existen tres subespecies de *A. parviflora* en Sonora: *A. p.* ssp. nov. en el área de Maycoba en el este de Sonora, *A. p.* ssp. *flexiflora* ocurre del área de Mátape a Moctezuma hacia el este a la parte de Nácori Chico a Huásabas en el este de Sonora y *A. p.* var. *parviflora* está en el sur de Arizona y la parte adyacente de Sonora. Su área principal es el área de Moctezuma, Mátape a Bacadéhuachi y Huachineras. Todos son comunes localmente y no están en peligro.
- Agave polianthiflora* (A). Común en el área de Yécora, pocas amenazas.
- Amoreuxia palmatifida* (Pr). Saya es una hierba perenne, de amplia distribución y a menudo común en Sonora. La raíz tuberosa y otras partes de la planta se usan como alimento por los indígenas Mayo, Seri y Yaqui (Felger y Moser, 1985; Hodgson, 2001; Yetman y Van Devender, 2002).
- Avicennia germinans* (Pr). El mangle negro ocurre a lo largo de la costa del Golfo de California hacia el norte hasta Puerto Lobos (Felger y Moser, 1985; Felger *et al.*, 2001). Amenazada en muchas áreas por el desarrollo costero.
- Brahea nitida* (Pr). Palma ampliamente distribuida en los cañones del este y sur de Sonora (Felger *et al.*, 2001). Sin amenazas evidentes.
- Conocarpus erecta* (Pr). Este mangle tiene una distribución ocasional en los manglares del sur de Sonora.
- Crusea coronata* (Pr). Anual de verano común en el este y sur de Sonora (Martin *et al.*, 1998).
- ∅ *Cupressus lusitanica* (Pr). Aunque Martin *et al.* (1998) y Felger *et al.* (2001) reportaron este árbol ribereño para Sonora, aquí consideramos a los árboles en el área de Yécora en el este de Sonora como *Callitropsis* (*Cupressus*) *arizonica*.
- ∅ *Dioon edule* (P). Sus sinonimias incluyen *D. edule* Lindl. var. *sonorense* (De Luca, Sabato y Vázquez Torres) McVaugh y Pérez de la Rosa y *D. tomasellii* De Luca, Sabato y Vázquez Torres var. *sonorense* De Luca, Sabato y Vázquez Torres. Aquí la consideramos como *D. sonorense* (DeLuca, Sabato y Vázq.) Chemnick, Gregory y Salas-Morales. La palma de la virgen es una cícada presente en la SBC-encinal desde la sierra de Mazatán hacia el sur al área de Álamos y en algunos lugares está seriamente amenazada por su colecta como una planta ornamental de jardín.
- Echinocereus bristolii* (Pr). Este cactus se conoce sólo de cerca de Soyopa (Paredes *et al.*, 2000).
- Echinocereus lauii* (A). Cactus conocido sólo del suroeste de Maycoba en el este de Sonora (Paredes *et al.*, 2000).
- Echinocereus leucanthus* (Pr). Cactus pequeño, delgado y trepador que se conoce sólo de unas cuantas localidades del sur de Sonora y el área de Los Mochis, Sinaloa (Martin *et al.*, 1998; Paredes *et al.*, 2000).
- Echinocereus stoloniferus* (Pr). Las dos variedades de este cactus *E. s.* var. *stoloniferus* y *E. s.* var. *tayopensis* están restringidas a la región del río Mayo en el este y sur de Sonora y la parte adyacente de Chihuahua (Paredes-A. *et al.*, 2000). *E. s.* var. *tayopensis* es muy común en el área de Yécora.
- Echinocereus subinermis* (Pr). Este cactus originalmente se describió de la sierra de Álamos. *E. subinermis* es escaso en la SBC y el encinal del sur de Sonora y el área adyacente de Chihuahua y Sinaloa (Martin *et al.*, 1998; Paredes *et al.*, 2000). Aunque no se ve con frecuencia, es localmente común en las laderas rocosas empinadas y riscos de áreas remotas.
- ***Eichhornia azurea* (P). Ésta es una especie no nativa e invasora en los canales del sur de Sonora (Van Devender *et al.*, 2009).
- Echinomastus erectocentrus* var. *acunensis* (P). Este cactus ocurre en matorral del Desierto Sonorense en Organpipe Cactus National Monument en Arizona y cerca de Sonoyta en Sonora (Felger, 2000; Paredes *et al.*, 2000). *E. e.* var. *erectocentrus* ocurre en el sureste de Arizona y se anticipa para el noreste de Sonora. Algunos autores incluyen las especies *E. erectocentrus* y *E. Intertextus* en el género *Sclerocactus* (Anderson, 2001).
- Echinomastus intertextus* (A). Ocurre en el sureste de Arizona (Benson, 1982) y en el noreste de Sonora cerca de Agua Prieta.
- ∅ *Erythea aculeata* (A). Aquí se considera como *Brahea aculeata* (Brandege) Moore. Palma localmente abundante en la SBC en el sur de Sonora (Felger *et al.*, 2001; Martin *et al.*, 1998).
- Ferocactus cylindraceus* (Pr). Esta biznaga se distribuye ampliamente en el suroeste de Estados Unidos, Baja California y es común en el noroeste de Sonora (Felger, 2000; Paredes *et al.*, 2000).
- Galium pilosum* (A). Hierba perenne conocida en Sonora sólo del bosque de pino en la sierra de los Ajos (Fishbein *et al.*, 1995).
- Guaiacum coulteri* (Pr). El guayacán es un arbusto o árbol común del matorral del Desierto Sonorense en el centro de Sonora y del matorral espinoso y la SBC del sureste de Sonora (Felger *et al.*, 2001). Sin amenazas serias.
- ∅ *Hamatocactus uncinatus* (A). Aquí lo consideramos como

- Glandulicactus uncinatus* (Paredes *et al.*, 2000). Este cactus con espinas en forma de gancho en Sonora se conoce sólo de la sierra del Viejo al sur de Caborca (Yatskievych y Fischer, 1983).
- Juglans major* (A). Árbol común con amplia distribución en hábitats ribereños del noreste de Sonora (Felger *et al.*, 2001).
- Laguncularia racemosa* (Pr). El mangle blanco ocurre a lo largo de la costa del Golfo de California hacia el norte hasta el estero Sargento (Felger y Moser, 1985; Felger *et al.*, 2001). Amenazado en muchas áreas por el desarrollo costero.
- Lilium parryi* (A). Este lirio es una hierba perenne rara; en Sonora se conoce sólo del bosque de pino-encino de la sierra de los Ajos (Fishbein *et al.*, 1995).
- Litsea glaucescens* (P). Arbusto del bosque de pino-encino en el este de Sonora (Martin *et al.*, 1998). Las hojas se usan mucho para el té de laurel y condimento para carne.
- Mammillaria boolii* (Pr). Esta cabeza de viejo se conoce sólo desde San Carlos a la Bahía San Pedro en el oeste de Sonora (Paredes *et al.*, 2000). Crece en laderas rocosas, en gran medida inaccesibles.
- ◊ *Mammillaria hertrichiana* (Pr). Aquí la consideramos como sinónimo de *M. standleyi* (Paredes *et al.*, 2000).
- Mammillaria johnstonii* (Pr). Cabeza de viejo conocida sólo entre Guaymas y la sierra Libre al sur de Hermosillo, en el oeste de Sonora (Paredes *et al.*, 2000).
- Mammillaria marksiana* (Pr). Este cactus ocurre en Durango, Sinaloa y el extremo sur de Sonora (Paredes *et al.*, 2000).
- Mammillaria miegiana* (Pr). Aquí la consideramos como sinonimia de *M. standleyi* (Paredes *et al.*, 2000).
- Mammillaria saboae* (Pr). Hay dos subespecies de *M. saboae* en Sonora (Paredes *et al.*, 2000). *M. s. ssp. haudeana* ocurre en el este de Sonora, en el área entre Maycoba y Yécora. Estos cactus pequeños localmente ocurren en grandes densidades en las áreas de lodolita volcánica de la Formación Baucarit del Mioceno en la Sierra Madre Occidental, sin amenazas evidentes. *M. s. ssp. goldii* es un cactus muy raro conocido de un área entre Agua Prieta y Nacoziari de García en el noreste de Sonora.
- Mammillaria yaquensis* (Pr). Esta cabeza de viejo con espinas de gancho, es endémica del matorral espinoso costero en la planicie costera del Golfo de California en el sur de Sonora (Paredes *et al.*, 2000).
- Manfreda planifolia* (Pr). Hierba perenne rara en el encinal de la sierra Saguaribo en el sureste de Sonora (Martín *et al.*, 1998).
- Olneya tesota* (Pr). Árbol común en el matorral del Desierto Sonorense en un área muy grande del centro y noroeste de Sonora (Felger *et al.*, 2001). Se extiende hasta el matorral espinoso en el área de Mazocahui y cerca de Navojoa, al este y sur del Desierto Sonorense, respectivamente. Aunque en algunas áreas del occidente del estado se sobrexplota para producir carbón y tallado de figuras, en general la especie no está sustancialmente amenazada.
- Oserya coulteriana* (Pr). Una planta pequeña, perenne y acuática que se adhiere a las piedras en el río Cuchujaqui al este de Álamos (Martin *et al.*, 1998).
- Ostrya virginiana* (Pr). Árbol raro en los bosques ribereños templados al este de Maycoba en la parte este y en la sierra El Tigre en el norte del estado (Felger *et al.*, 2001; Martin *et al.*, 1998). Abundante en otras partes de Norteamérica, incluyendo México.
- Peniocereus greggii* (Pr). Hay dos variedades del cactus sarramatra o reina de la noche en Sonora. *P. g.* var. *greggii* ocurre en el noreste del estado. Aunque Paredes *et al.* (2000) no reporta localidad, en inventarios posteriores se encontró como localmente común en matorral del Desierto Chihuahuense y pastizal con mezquite en el área de Agua Prieta, sin amenazas obvias. *P. g.* var. *transmontanus* tiene una amplia distribución en el Desierto Sonorense del centro y noroeste de Sonora. En el pasado, los tubérculos se colectaban y vendían como medicina, pero actualmente enfrenta pocas amenazas.
- Peniocereus marianus* (Pr). Esta reina de la noche o sarramatra ocurre en el matorral espinoso de la Sierra Libre hacia el sur hasta el norte de Sinaloa (Paredes *et al.*, 2000). Es común en las sierras y en la planicie costera al sureste de Guaymas.
- Pinus flexilis/P. reflexa* (Pr). Los pinos blancos son un grupo de especies emparentadas presentes desde el suroeste de Canadá hasta el norte de Centroamérica (Felger *et al.*, 2001). La especie más al norte es *P. flexilis*. Farjon y Styles (1997) identificaron los pinos blancos de México como *P. strobiformis* (cuyo trabajo seguimos aquí). Otras sinonimias son *P. flexilis* ssp. *reflexa* y *P. ayacahuite* ssp. *strobiformis*. Ocurre en los bosques de las zonas altas de la Sierra Madre Occidental y las Islas Serranas del este y noreste del estado de Sonora (Felger *et al.*, 2001).
- Psilotum complanatum* (A). Un helecho conocido en Sonora sólo de las inmediaciones de Santa Bárbara al noroeste de Álamos (Martin *et al.*, 1988).
- Rhizophora mangle* (Pr). El mangle rojo ocurre a lo largo

- de la costa del Golfo de California hacia el norte al Estero Sargento (Felger y Moser, 1985; Felger *et al.*, 2001). Amenazada por el desarrollo costero.
- Rumex orthoneurus* (A). Hierba perenne conocida en Sonora sólo del bosque mixto de coníferas en la sierra de los Ajos (Fishbein *et al.*, 1995).
- Sabal uresana* (Pr). Palma localmente común en la región de San Carlos y en la porción este-centro hacia el sureste de Sonora (Felger *et al.*, 2001).
- Selaginella porphyrospora* (P). Se conoce en Sonora sólo del encinal en la Sierra Saguaribo (Martin *et al.*, 1998).
- ◊ *Smilacina racemosa* (A). Aquí la consideramos como *Maianthemum racemosum* (L.) Link. Este lirio es una hierba perenne conocida en Sonora sólo del bosque de pino-encino y del bosque mixto de coníferas en la Sierra de los Ajos (Fishbein *et al.*, 1995) y la Sierra El Tigre (White, 1948).
- ◊ *Smilacina stellata* (A). Aquí es considerada como *Maianthemum stellatum* (L.) Link. Este lirio es una hierba perenne conocida en el estado de Sonora sólo del bosque de pino-encino en la Sierra de los Ajos (Fishbein *et al.*, 1995).
- Tabebuia chrysantha* (A). La amapa amarilla es un árbol que se encuentra de forma esporádica y en ocasiones es localmente común en la SBC desde cerca de San Javier y hacia el sur del estado (Felger *et al.*, 2001). La madera dura, tanto de *T. chrysantha* como de *T. impetiginosa*, es muy apreciada para la construcción (Yetman y Van Devender, 2002).
- ◊ *Tabebuia palmeri* (A). Aquí considerada como *T. impetiginosa* (Felger *et al.*, 2001; Martín *et al.*, 1998). La amapa morada es un árbol común en la SBC desde cerca de San Javier hasta el sur del estado de Sonora (Felger *et al.*, 2001).
- Thermopsis montana* (A). Una hierba perenne conocida en Sonora sólo del bosque mixto de coníferas en la sierra de los Ajos (Fishbein *et al.*, 1995).
- ◊ *Tilia mexicana* (P). Aquí considerada como *T. americana* L. var. *mexicana* (Schltdl.) Hardin (Felger, 2001). Un árbol raro de hábitats ribereños del bosque de pino-encino en el este del estado al suroeste de Maycoba. Común en otras partes de México y en Estados Unidos.
- Trifolium wormskioldii* (A). *T. w.* var. *ortegae* es una hierba perenne y localmente común cerca de ríos en el encinal y bosque de pino-encino en el área de Yécora en el este de Sonora (Martin *et al.*, 1998).
- Tripsacum zopilotense* (Pr). Un zacate perenne, raro en el área de Yécora en el este del estado (Van Devender *et al.*, 2005).
- Yucca grandiflora* (Pr). Un árbol suculento con una distribución amplia en la porción este-centro y sureste de Sonora (Felger *et al.*, 2001; Gentry, 1974).
- ◊ *Zigadenus virescens* (Pr). Aquí considerada como *Anticlea virescens* (Kunth) Rydb. Es un lirio perenne conocido en el estado de Sonora sólo del bosque de pino-encino y del bosque mixto de coníferas en la sierra de los Ajos (Fishbein *et al.*, 1995) y en la sierra El Tigre (White, 1948).

Tabla 4b. Lista anotada de plantas sonorenses de importancia para la conservación. Plantas de Sonora en el listado de especies del gobierno de Estados Unidos (Ley de Especies en Peligro de Extinción)

Categorías del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos:
 E = en peligro de extinción, T = amenazada,
 PE = propuesta como en peligro de extinción,
 C = candidata para la lista, SC = especie de preocupación
 (sin categoría oficial pero de preocupación)

- Abutilon parishii* (SC)
Agave parviflora var. *parviflora* (SC)
Amsonia grandiflora (SC)
Amoreuxia gonzalezii (SC)
Astragalus hypoxylus (C)
Browallia eludens (SC)
Cleome multicaulis (SC)
Coryphantha recurvata (SC)
Coryphantha robustispina var. *robustispina* (E)
Coursetia glabella (SC)
Cryptantha ganderi (SC)
Dalea tentaculoides (SC)
Echinocactus horizonthalonius var. *nicholii* (E)
Echinomastus erectocentrus var. *acunensis* (C)
Echinomastus erectocentrus var. *erectocentrus* (SC)
Euphorbia platysperma (SC)
Graptopetalum bartramii (SC)
Heterotheca rutteri (SC)
Hieracium pringlei (SC)
Lilaeopsis schaffneriana var. *recurva* (E)
Lilium parryi (SC)
Lupinus huachucanus (SC)
Macropodium supinum (SC)
Metastelma mexicanum (SC)
Pectis imberbis (SC)
Phemeranthus marginatus (SC)
Pholisma sonorae (SC)

Tabla 5. Especies invasoras seleccionadas o potencialmente invasoras en Sonora

Desierto Sonorense Valle del Bajo Río Colorado (VBC)	
<i>Brassica tournefortii</i> . Mostaza del Sahara. Invasora en matorral desértico en VBC y a orillas de caminos en el noreste de Sonora.	
<i>Bromus rubens</i> . Bromo rojo. Invasora en la región del Pinacate.	
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i> . Hielitos. Invasora en áreas costeras arenosas y cerca de caminos en VBC y la Costa del Golfo en Sonora.	
<i>Schismus arabicus</i> . Zacate árabe. Invasora en matorral desértico en VBC. Orillas de caminos en el noreste de Sonora.	
<i>Schismus barbatus</i> . Zacate mediterráneo. Invasora en matorral desértico en VBC y orillas de caminos en el noreste de Sonora.	
Desierto Sonorense Altiplano de Arizona (AAZ)	
<i>Pennisetum ciliare</i> . Zacate buffel. Extendiéndose a VBC, en el noreste de Sonora, y otros lugares a orillas de caminos.	
Pastizal	
<i>Eragrostis lehmanniana</i> . Zacate africano. Invasora en pastizal, orillas de caminos en otras partes.	
<i>Melinis repens</i> . Zacate rosado. Invasora del pastizal cerca de Nogales y Yécora, con distribución amplia en otros hábitats como encinales y bosques del área de Álamos, orillas de caminos.	
Hábitats ribereños	
<i>Arundo donax</i> . Carrizo. Llega a ser localmente abundante y aparentemente ha reemplazado el carrizo nativo (<i>Phragmites australis</i>) en el sur de Sonora.	
<i>Cryptostegia grandiflora</i> . Clavel de España. Áreas más tropicales en el sur de Sonora.	
<i>Cynodon dactylon</i> . Zacate bermuda o inglés. Casi en todo el estado. Ríos, aguajes, cunetas de carreteras, etc.	
<i>Parkinsonia aculeata</i> . Guacaporó, bagote, retama. Amplia distribución en hábitats ribereños perturbados.	
<i>Polypogon monspeliensis</i> . Zacate cola de zorra. Amplia dis-	

tribución en hábitats ribereños húmedos.
Ricinus communis. Higuera. Hábitats perturbados en la mitad este del estado.
Tamarix aphylla. Pino salado. Tierras de inundación cerca de caminos, hábitats ribereños.
Tamarix chinensis. Pino salado. Ríos, arroyos y orillas de caminos.

Hábitats acuáticos

Eichhornia azurea. Lirio acuático. Río Mayo, sur de Sonora.
Eichhornia crassipes. Patito, lirio acuático común. Río Mayo y canales del sur de Sonora.
Nasturtium officinale. Berro. Casi todos los ríos en la frontera noreste de Sonora.
Salvinia molesta. Helecho flotador gigante. Invasora en el río Colorado y canales.

Orilla de caminos

Centaurea melitensis. Cardo. Orillas de la carretera Mex 2 en el Desierto Sonorense y noreste de Sonora.
Cleome viscosa. En el sur de Sonora, extendiéndose rápidamente hacia el norte a lo largo de la carretera Mex 15 en el centro de Sonora.
Dichanthium annulatum. Zacate carretero. En el sur de Sonora, extendiéndose hacia el norte.
Eruca vesicaria subsp. *sativa*. Arugula. Orillas de caminos en el área de Agua Prieta, potencialmente invasora en el AAZ.
Glaucium corniculatum. Amapola de Turquía. Orillas de la carretera Mex 2 cerca de Agua Prieta.
Leucaena leucocephala. Guaje. Sur de Sonora, extendiéndose hacia el norte, hasta el norte de Ímuris a lo largo de la carretera Mex 15.
Nicotiana glauca. Juanloco, Don Juan. Hábitats ribereños, especialmente en la planicie aluvial del río Sonora.
Sorghum halepense. Zacate Johnson, zacate juanón. Amplia distribución en áreas de inundación y a orillas de caminos y hábitats ribereños.

Agricultura

Brassica nigra. Mostaza. Campos y orillas de caminos.
Brassica rapa. Mostaza. Campos y orillas de caminos.
Convolvulus arvensis. Correhuela. Campos y orillas de caminos.

Salsola tragus. Chamizo volador. Campos y orillas de caminos, especialmente común cerca de Agua Prieta y la Costa de Hermosillo.

Áreas urbanas

Ailanthus altissima. Falso nogal. Escapado de cultivo localmente desde Santa Cruz a Agua Prieta.

Cynodon dactylon. Zacate bermuda o inglés, es común en las principales áreas urbanas en todo el estado.

Descurainia sophia. En campos y orillas de caminos en el noreste de Sonora.

Kochia scoparia. Coquia. Agua Prieta; potencialmente en las áreas agrícolas.

Lepidium didymum. Lentejilla rastrera. Común en ciudades y pueblos de la porción oriental del estado.

Leucaena leucocephala. Guaje. Hermosillo y otras ciudades importantes.

Pennisetum ciliare. Zacate buffel. Caborca, Bahía de Kino, Guaymas, Hermosillo, etc.

Pennisetum setaceum. Zacate plumitas. Ornamental, introducido recientemente en Álamos, Ciudad Obregón, Hermosillo y Magdalena de Kino; está escapando y propagándose.

Capítulo traducido por Ana Lilia Reina-Guerrero

HELMINTOS PARÁSITOS DE VERTEBRADOS SILVESTRES

GERARDO PÉREZ-PONCE DE LEÓN,¹ LUIS GARCÍA-PRieto¹ Y BERENIT MENDOZA-GARFIAS¹

RESUMEN. En este trabajo presentamos una lista de los helmintos que parasitan a vertebrados terrestres en el estado de Sonora. Para ello, se realizó una búsqueda en la base de datos de la Colección Nacional de Helmintos (CNHE) depositada en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y adicionalmente se compilaron los registros disponibles en la literatura hasta la fecha. Esta lista contiene 54 taxones de helmintos que en su mayoría están identificados a nivel de especie. Éstos se encuentran incluidos en 42 géneros de 22 familias, representantes de cuatro grupos de helmintos: tremátodos, céstodos, acantocéfalos y nemátodos. Los nemátodos son el grupo más abundante, pues 35 de los 54 taxones, es decir, 65% de los registrados hasta el momento, pertenecen a este grupo. En cuanto a los hospederos, únicamente 34 especies de vertebrados terrestres han sido estudiadas en busca de helmintos, en los que al menos una especie ha sido registrada. Entre ellos se incluyen nueve especies de peces dulceacuícolas, seis especies de anuros, 17 de reptiles y dos de mamíferos. Sólo algunas especies han sido estudiadas con mayor detalle: la rana *Lithobates tarahumarae*, la lagartija *Sceloporus jarrovi*, así como la tortuga *Gopherus* spp. Es evidente que se ha realizado muy poco esfuerzo hasta el momento para inventariar a los helmintos de vertebrados terrestres del estado de Sonora, aspecto que representa un campo fértil para la investigación en el futuro.

ABSTRACT. In this work a checklist of the helminth parasites of terrestrial vertebrates of the State of Sonora is presented. To accomplish this goal we conducted a search in the database of the National Collection of Helminths, deposited at the Biology Institute of the UNAM. Additionally a bibliographic search was conducted. The checklist contains 54 helminth taxa, most of them identified to species level. These taxa comprise 42 genera

and 22 families representing four major helminth groups: trematodes, cestodes, acanthocephalans, and nematodes. Nematodes are the most abundant since 35 (65%) of the species belong to this group. Only 34 species of terrestrial vertebrates have been studied for helminths and at least one species has been recorded from them. This includes nine species of freshwater fishes, six species of amphibians, 17 of reptiles and two mammals. Only a few species of hosts have been studied in detail: the frog *Lithobates tarahumarae*, the lizard *Sceloporus jarrovi*, and the turtle *Gopherus* spp. Evidently little effort has been made to inventory the helminth fauna of terrestrial vertebrates in Sonora State so far, representing an open field for future research.

INTRODUCCIÓN

El parasitismo representa una de las formas de vida más exitosas sobre el planeta, pues más de cincuenta por ciento de las especies conocidas son parásitos, incluyendo a los virus y a la mayoría de las bacterias, así como a los organismos eucariontes más comúnmente asociados a la parasitología (Brooks y Hoberg, 2006). Los parásitos, en un sentido amplio, incluyen agentes de enfermedad que afectan no solamente a humanos, sino también a animales domésticos, cosechas y a la fauna silvestre. En este contexto, los parásitos juegan un doble papel en la naturaleza; por un lado, funcionan como agentes reguladores de las poblaciones de hospederos, contribuyendo al mantenimiento de la diversidad genética y la estructura de las comunidades de vertebrados e invertebrados y, por otro lado, representan una amenaza para la salud humana, la agricultura, los sistemas naturales, las prácticas de conser-

¹ Universidad Nacional Autónoma de México.

vación y la economía global (Horowitz y Wilcox, 2005; Brooks y Hoberg, 2006). Es por ello que el conocimiento de la diversidad y distribución de las especies de patógenos (tanto de las ya conocidas como de aquellas potenciales) es importante, pues permite hacer valoraciones sobre las denominadas enfermedades infecciosas emergentes (Brooks y Hoberg, 2006). El concepto «enfermedades infecciosas emergentes» se utilizó originalmente para infecciones virales (y en ocasiones bacterianas) que surgían repentinamente en el ser humano; sin embargo, el término no puede restringirse a la salud humana y su aplicación se ha ampliado para incluir también a la fauna silvestre. Un ejemplo de ello lo constituyen los anfibios (véase Brooks *et al.*, 2006). En los últimos años hemos atestiguado un gran incremento en el número de trabajos encaminados a entender las causas del declive de las poblaciones de anfibios a escala mundial (véase Daszak *et al.*, 2003), lo cual no sólo se relaciona con el desarrollo de malformaciones causadas por parásitos (Johnson *et al.*, 2002), sino también con altas tasas de mortalidad, en las que inciden, además de factores fisicoquímicos del ambiente (Blaustein *et al.*, 2003), organismos patógenos como el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, el cual ha despertado un enorme interés en la comunidad científica (Mendelson *et al.*, 2006).

Por otra parte, los parásitos constituyen uno de esos grupos en donde cualquier cálculo sobre biodiversidad podría resultar subestimado. A la pregunta: ¿cuántas especies de parásitos existen?, debe adicionarse otra: ¿cuántas especies de plantas y animales están parasitadas?; Esch y Fernández (1993) estiman que cien por ciento de éstos lo estaría, es decir, prácticamente cualquier organismo que sea estudiado albergará interna o externamente al menos algún tipo de parásito en su cuerpo. El número de especies de parásitos en un hospedero depende de diversos factores interrelacionados, algunos atribuibles al hospedero, otros al ambiente en el que éste vive y varios más inherentes a la biología del parásito mismo, por lo que la fauna parasitaria puede aportar una nueva dimensión al entendimiento de las interacciones ecológicas, al de los

patrones de distribución de los hospederos y al de la compleja historia de muchas regiones y biotas.

Cuantificar el número de especies de parásitos que habitan en la tierra no es, por supuesto, una tarea sencilla. El primer problema deriva de la concepción misma del término *parásito*. Las definiciones de este término tradicionalmente se han basado en algún aspecto ecológico de la relación parásito-hospedero, sea ésta la forma de alimentación y, por lo tanto, la dependencia metabólica que establecen, la especificidad por el hábitat que ocupan en sus hospederos o, bien, el efecto dañino que producen. Durante muchos años se han buscado los rasgos que caractericen a un organismo parásito de manera precisa, sin haberlos definido. Brooks y McLennan (1993) señalaron que la respuesta a este enigma se encuentra en la biología evolutiva: los parásitos no representan un grupo monofilético. Debido a la inevitable y estrecha asociación de los términos *parásito* y *enfermedad*, en la historia y en la mente humana, a los parásitos se les ha identificado como una categoría taxonómica similar a la que tienen grupos naturales como los mamíferos y las aves y, puesto que los parásitos no son un grupo natural, la búsqueda de las características que definen al «grupo» no arroja resultados consistentes. Por lo tanto, la cuantificación de especies de parásitos dependerá en gran medida del concepto que el investigador aplique a las entidades que estudia.

De esta forma, además de los virus y muchas bacterias, encontramos organismos parásitos en una enorme gama de organismos eucariontes. Entre estos últimos, los helmintos constituyen uno de los más importantes, por su amplia abundancia y por los efectos que causan en sus hospederos. Los helmintos representan un grupo de organismos que, al igual que los parásitos, no constituyen un grupo monofilético, ya que bajo este término se incluyen representantes de cuatro Phyla que no están relacionados filogenéticamente: Platyhelminthes, Acanthocephala, Nematoda y Annelida; se caracterizan principalmente por ser metazoarios, macroparásitos y por su aspecto vermiforme. Los platelmintos se caracterizan por ser gusanos aplanados dorsoventralmente, hermafroditas, por tener simetría bila-

teral y por ser acelomados. Dentro de los platelmintos encontramos tanto organismos de vida libre (*v.g.*, las planarias), como parásitos, representados estos últimos por tres grandes grupos que parasitan vertebrados, incluyendo al hombre: digéneos, monogéneos y céstodos (Roberts y Janovy, 2005).

Los acantocéfalos son parásitos de vertebrados que se caracterizan por ser pseudocelomados, dioicos y por presentar una región anterior provista de un órgano de fijación llamado proboscis, la cual se encuentra armada con ganchos (Roberts y Janovy, 2005). Los nemátodos también son pseudocelomados, dioicos, con forma cilíndrica, los cuales exhiben una enorme diversidad pues incluyen especies tanto de vida libre como parásitos de plantas y vertebrados (Roberts y Janovy, 2005). Por último, los anélidos (dentro de los cuales se encuentran las lombrices de tierra), incluyen un grupo que tiene algunos representantes parásitos como las sanguijuelas (Hirudinea). Éstas se caracterizan por ser celomadas, metamerizadas y con una ventosa ventral muy desarrollada, particularmente en las especies parásitas (Roberts y Janovy, 2005).

El estudio de este grupo como parásitos de vertebrados silvestres en México se inició hace más de 75 años y hasta la fecha se ha acumulado una cantidad importante de información. A pesar de ello, algunos estudios han estimado que el número de especies de helmintos descubiertas y descritas en nuestro país no supera 15% (véase Pérez-Ponce de León *et al.*, 1996a, para el caso de helmintos de quirópteros; Pérez-Ponce de León *et al.*, 1996b, para helmintos de peces de aguas continentales; Pérez-Ponce de León, 2001, para digéneos de vertebrados silvestres y Pérez-Ponce de León *et al.*, 2002, para helmintos parásitos de anfibios y reptiles).

A pesar de que para este grupo de organismos el inventario en el ámbito nacional está muy lejos de completarse, en los últimos años se ha sistematizado la información, lo que ha permitido analizar la diversidad de helmintos a diferentes escalas, tanto de hospederos como de localidades. En la última década se ha generado mucho interés para presentar libros que reúnan la información sobre la biodiversidad de regiones particulares del país o, bien, a

escala de estados de la República. En el caso de los helmintos se ha descrito la diversidad en regiones tales como la reserva de Sian Ka' an y su área de influencia (Lamothe-Argumedo *et al.*, 1991) y la región de los Tuxtlas en Veracruz (Lamothe-Argumedo *et al.*, 1993). En otros casos se ha descrito la diversidad de helmintos en un grupo particular de hospederos, como los peces dulceacuícolas de Tabasco (Salgado-Maldonado *et al.*, 2005). Este tipo de contribuciones son muy importantes pues sintetizan el conocimiento de la biodiversidad a escala regional y, en su conjunto, constituyen una herramienta fundamental para proponer medidas de conservación y manejo de la vida silvestre.

Desafortunadamente, para algunos grupos de organismos que exhiben una enorme diversidad, el conocimiento en México es asimétrico. En el caso de los helmintos, la región norte del país es la menos explorada para los diferentes grupos de vertebrados que en ella habitan, situación que ha sido señalada recientemente (véase Garrido-Olvera *et al.*, 2006; Pérez-Ponce de León *et al.*, 2007). Es por ello que en este capítulo presentamos la información existente sobre la fauna helmintológica de vertebrados terrestres del estado de Sonora, estando conscientes de que el inventario en el estado está aún muy lejos de conocerse con precisión. Aun así, como se ha discutido ampliamente en la literatura, los parásitos proporcionan una enorme cantidad de información que, sumada a la obtenida de sus hospederos, es de gran utilidad en las prácticas de conservación en la actualidad (Brooks y Hoberg, 2000; Brooks *et al.*, 2001). Cabe señalar que para el estado de Sonora se han estudiado desde el punto de vista helmintológico numerosas especies de peces marinos (31), aves (6) y mamíferos marinos (3), registrándose 64 especies de helmintos contenidas en 58 géneros, mismas que escapan del objetivo central de este libro y por lo cual no fueron incluidas.

LISTA PARÁSITO-HOSPEDERO

A continuación se presenta la lista de helmintos

que han sido registrados como parásitos de algunas especies de vertebrados terrestres que habitan dentro de los límites del estado de Sonora. Esta lista contiene 54 taxones de helmintos de los cuales únicamente nueve no están identificados a nivel de especie, debido a que se encontraron en estado larvario (metacercaria, cistacanto o larva de tercer estadio). De esta forma, los 54 taxones están incluidos en 42 géneros de 22 familias representantes de cuatro grupos de helmintos: tremátodos y céstodos (Phylum Platyhelminthes), acantocéfalos (Phylum Acanthocephala) y nemátodos (Phylum Nematoda). La mayor proporción de especies de helmintos en vertebrados terrestres de Sonora corresponde a los Nemátodos, pues 35 (65% de los taxones registrados hasta el momento) pertenecen a este grupo.

En términos de hospederos, únicamente 34 especies de vertebrados terrestres han sido estudiados para helmintos, en las que se encontró al menos una especie parasitándolos. Se han registrado helmintos en únicamente nueve especies de peces dulceacuícolas, seis especies de anuros, diecisiete de reptiles y dos de mamíferos. Como característica general, la mayor parte de los registros corresponden a trabajos aislados donde se presenta la información de una especie de helminto en algún hospedero. Quizás el único trabajo que representa un registro helmintológico completo es el de Bursley y Goldberg (2001), quienes estudiaron los helmintos de *Lithobates tarahumarae* en la localidad de Yécora. Otros trabajos carecen de información sobre la o las localidades donde el material fue recolectado, como por ejemplo el de Goldberg *et al.* (1996), quienes describen los helmintos gastrointestinales de la lagartija *Sceloporus jarrovi* en diferentes partes de México y se designa al estado de Sonora (sin mayor detalle) como localidad para algunos de ellos.

El inventario de los helmintos parásitos de vertebrados silvestres en Sonora se encuentra ciertamente en su etapa inicial, tal y como ha sucedido con algunos otros estados, sobre todo del norte de la República Mexicana, en donde prácticamente no existen grupos de investigación dedicados a la

importante tarea de describir la biodiversidad. Es evidente que se ha realizado muy poco esfuerzo hasta el momento para inventariar a los helmintos de vertebrados terrestres del estado de Sonora, aspecto que representa un campo fértil para la investigación en el futuro, dado que los parásitos constituyen una fuente de información muy importante en iniciativas de conservación, no únicamente por el efecto deletéreo que pueden llegar a tener sobre las poblaciones de hospederos a los que parasitan, sino también por el contenido mismo de información sobre la historia evolutiva y biogeográfica de la asociación que establecen con sus hospederos.

La lista se encuentra organizada de la siguiente manera: los helmintos se ordenan por el grupo al que pertenecen, iniciando con los platelmintos (que incluyen tremátodos y céstodos), seguidos por los acantocéfalos y por último por los nemátodos. Dentro de cada grupo, los helmintos se enlistan alfabéticamente por familia y, dentro de cada una de éstas, se presentan las especies también en orden alfabético. Para cada especie se registra su nombre científico (con autor y año de publicación), estado de desarrollo, hábitat en el que se registró dentro del hospedero, localidad(es) donde el hospedero fue recolectado (cuando está disponible), seguida por hospedero(s) y referencia bibliográfica. Después se indica si el material se encuentra depositado en alguna colección parasitológica, para lo cual se utiliza la sigla de la misma y, por último, se describe brevemente el ciclo de vida de cada especie. En algunas referencias no se especifica la localidad precisa de recolecta dentro del estado de Sonora, por lo que en este caso se usa la sigla ND (no determinada). Debido a que no todos los ciclos de vida de los parásitos han sido descritos, cuando éste no se conoce para una especie en particular, se presenta el ciclo biológico de la familia o género al que la especie pertenece. Al final del capítulo se encuentra la literatura citada, de tal modo que el lector puede remitirse a las referencias originales de cada registro.

Por último, para cada uno de los géneros incluidos en la lista hospedero-parásito presentamos esquemas de una especie representativa, con el fin

de facilitar su identificación, atendiendo a las estructuras morfológicas más importantes de cada una. Las figuras fueron redibujadas de las referencias originales y, en algunos casos, los dibujos se realizaron con base en ejemplares depositados en colecciones. Las siglas de las colecciones que se refieren más adelante son: CNHE: Colección Nacional de Helmintos, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México; MNHNP: Muséum National d'Histoire Naturelle, París, Francia; USNPC: U.S. National Parasite Collection, Beltsville, Maryland, USA.

Lista parásito-hospedero

Platyhelminthes Gegenbaur, 1859

Trematoda Rudolphi, 1808

Diplostomidae Poirier, 1886

Diplostomum sp.

(figura 1.1)

Estado de desarrollo: metacercaria. *Hábitat:* cerebro, ojos. *Distribución y hospederos:* Esperanza: *Ictalurus punctatus* (Hernández-Martínez, 1992). *Sin material depositado.*

Ciclo de vida: el adulto vive en el intestino de aves, los huevos salen con las heces y se depositan en el agua; el miracidio que liberan penetra en un caracol (primer hospedero intermediario). Las cercarias salen del caracol e infectan un pez (segundo hospedero intermediario), alojándose en ojos y cerebro, donde se desarrollan las metacercarias no enquistadas; el ciclo se cierra cuando las aves consumen peces infectados (Yamaguti, 1975).

Neascus (tipo larvario)

Estado de desarrollo: metacercaria. *Hábitat:* ojos. *Distribución y hospederos:* Arroyo Cuchujaqui, Río Fuerte: *Poecilia butleri*, *Poeciliopsis lucida* (Vrijenhoek, 1975). *Sin material depositado.*

Ciclo de vida: el ciclo de vida de los diplostómidos involucra a un caracol como primer hospedero intermediario, a un pez como segundo hospedero intermediario y a un ave como definitivo (Pérez-Ponce de León, 1992).

Clinostomidae Lühe, 1901

Clinostomum complanatum (Rudolphi, 1814)

Braun, 1899

(figura 1.2)

Estado de desarrollo: metacercaria. *Hábitat:* aletas, piel. *Distribución y hospederos:* Mesa Tres Ríos: *Ameiurus melas* (Rosas-Valdez y Pérez-Ponce de León, 2008); Esperanza: *Ictalurus punctatus* (Hernández-Martínez, 1992). *Material depositado:* CNHE (5969). *Ciclo de vida:* el miracidio penetra al primer hospedero intermediario (gasterópodo), donde se desarrolla la cercaria, que emerge para infectar al segundo hospedero (peces, anfibios y reptiles); el estado adulto vive en la cavidad bucal, tráquea o esófago de aves ictiófagas (Lo *et al.*, 1982), ocasionalmente en mamíferos como el hombre (Hirai *et al.*, 1987).

Gorgoderidae Loos, 1901

Gorgoderina attenuata (Stafford, 1902) Stafford, 1905

(figura 1.3)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* vejiga urinaria. *Distribución y hospederos:* ND: *Leptodactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89806).

Ciclo de vida: las especies del género *Gorgoderina* involucran a moluscos bivalvos como primeros hospederos intermediarios, larvas de insectos o renacuajos como segundos hospederos intermediarios y completan su desarrollo en anuros o caudados, que se infectan al ingerir la muda de los renacuajos o, bien, a los invertebrados (Coil, 1954; Yamaguti, 1975).

Haematoloechidae Odening, 1964

Haematoloechus breviplexus Stafford, 1902

(figura 1.4)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* pulmones. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumaranae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89182).

Ciclo de vida: El patrón general establecido para los miembros del género *Haematoloechus* incluye a

un gasterópodo de las familias Lymneidae, Physidae o Planorbidae como primer hospedero intermediario, a náyades de libélulas (Odonata) y diversos insectos acuáticos como segundos hospederos intermediarios y a anfibios (Anura y Caudata) como hospederos definitivos (Yamaguti, 1975; Snyder y Janovy, 1996).

Haematoloechus longiplexus Stafford, 1902

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* pulmones. *Distribución y hospederos:* ND: *Leptodactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89807).

Ciclo de vida: véanse notas sobre *H. breviplexus*.

Lecithodendriidae (Lühe, 1931)

Langeronia macrocirra Caballero y Bravo-Hollis, 1949
(figura 1.5)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89185).

Ciclo de vida: se han registrado a gasterópodos de la familia Hydrobiidae como primer hospedero intermediario de las especies del género; las larvas del digéneo (cercarias) pueden enquistarse en los caracoles o emerger y penetrar náyades de libélulas. Los anuros (hospederos definitivos) se infectan mediante la ingestión de odonatos o caracoles (Goodman, 1989).

Macroderoididae (Goodman, 1952)

Alloglossidium corti (Lamont, 1920) Van-Cleave y Mueller, 1934
(figura 1.6)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* Río Bavispe: *Ictalurus punctatus* (Rosas-Valdez y Pérez-Ponce de León, 2008). *Material depositado:* CNHE (5928).

Ciclo de vida: McCoy (1928) estableció el ciclo de vida experimental: las cercarias que se encuentran

en el caracol (*Heliosoma trivolvia*) son liberadas y penetran en cangrejos o libelulas (náyades), donde se desarrolla la metacercaria y cuando son ingeridos por peces ictalúridos se cierra el ciclo de vida (Crawford, 1937).

Glypthelmins quieta (Stafford, 1900) Stafford, 1905
(figura 1.7)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89181).

Ciclo de vida: Gasterópodos de las familias Physidae o Lymneidae actúan como primeros hospederos intermediarios, los cuales liberan larvas (cercarias) que se enquistan en piel o cavidad de los renacuajos. La ingestión de renacuajos o de la piel durante la muda es la vía de infección más frecuente para los anuros; sin embargo, si la larva se enquista en la cavidad del renacuajo, ésta se libera y migra hacia el intestino al ocurrir la metamorfosis del hospedero (Yamaguti, 1975; Prudhoe y Bray, 1982).

Rauschiella poncedeleoni (Razo-Mendivil y León-Règagnon, 2001)
(figura 1.8)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Leptodactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89805).

Ciclo de vida: se desconoce para los miembros del género. Sin embargo, las afinidades filogenéticas de *Rauschiella* y *Glypthelmins* (Razo-Mendivil, 2004) sugieren que el desarrollo de su ciclo de vida sigue un patrón similar al referido para *Glypthelmins*.

Cladorchiidae Fiscoeder, 1901

Megalodiscus temperatus (Stafford, 1905) Harwood, 1932
(figura 1.9)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Leptodactylus melanono-*

tus, *Pachymedusa dacnicolor* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado*: USNPC (89808, 89815). *Ciclo de vida*: las primeras etapas del ciclo se desarrollan en moluscos de las familias Planorbidae y Pleuroceridae, que actúan como primer hospedero definitivo; las larvas (cercarias) liberadas al agua por éstos se enquistan en la piel de renacuajos (segundos hospederos intermediarios). Los anuros adultos (hospederos definitivos), al ingerir la muda de los renacuajos, se infectan desarrollando la forma adulta; si un renacuajo ingiere una muda infectada las larvas se enquistan en la pared del intestino y durante la metamorfosis se desenquistan y se establecen en la cloaca (Yamaguti, 1975).

Cestoidea Rudolphi, 1808

Anoplocephalidae Cholodkovsky, 1902

Oochoristica scelopori Voge y Fox, 1950
(figura 2.1)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat*: intestino. *Distribución y hospederos*: Baviácora: *Phrynosoma dimarsii* (Goldberg y Bursey, 2000b). *Material depositado*: USNPC (89270).

Ciclo de vida: desconocido; el ciclo más estudiado para una especie del género es el de *Oochoristica anolis*, que utiliza a un escarabajo del género *Tenebrio* como hospedero intermediario, el cual resulta infectado al ingerir huevos del céstodo liberados con las heces de la lagartija (hospedero definitivo). La ingestión del artrópodo por el reptil libera un metacéstodo en su intestino que madura en aproximadamente siete días posinfección (Conn, 1985).

Mesocestoididae Fuhrmann, 1907

Mesocestoides sp.
(figura 2.2)

Estado de desarrollo: tetratiridia. *Hábitat*: cavidad del cuerpo, mesenterio. *Distribución y hospederos*: ND: *Crotalus willardi* (Goldberg y Bursey, 2000a); 10 millas E del Oasis, *Trimorphodon tau*, Río Cuchujaqui, *Masticophis mentovarius* (Goldberg y Bursey, 2004b). *Material depositado*: USNPC (95047, 95056). *Ciclo de vida*: No se ha establecido con precisión; se

ha sugerido que ácaros oribátidos u hormigas pueden actuar como primer hospedero intermediario y que, a diferencia de la mayoría de los céstodos, las especies de este género requieren la participación de un segundo hospedero intermediario (roedores, anfibios, reptiles) en el que se desarrolla la tetratiridia; la ingestión del segundo hospedero intermediario por parte de un carnívoro (*v.g.*, cánidos) resultaría en el desarrollo de la fase adulta en su intestino (Padgett y Voice, 2005).

Nematotaeniidae Lühe, 1910

Cylindrotaenia americana Jewell, 1916
(figura 2.3)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat*: intestino. *Distribución y hospederos*: ND: *Anaxyrus kelloggi*, *Lep-todactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado*: USNPC (89794, 89809).

Ciclo de vida: no ha sido determinado con claridad para los miembros de Nematotaeniidae; sin embargo, Jones y Delvinquier (1991) señalaron que el desarrollo de este grupo de céstodos involucra un artrópodo como hospedero intermediario.

Nematotaenia dispar (Goeze, 1782) Lühe, 1899
(figura 2.4)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat*: intestino. *Distribución y hospederos*: ND: *Ollotis mazatlanensis* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado*: USNPC (89798).

Ciclo de vida: véanse comentarios sobre *Cylindrotaenia americana*.

Proteocephalidae La Rue, 1911

Corallobothrium fimbriatum (Essex, 1929)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat*: intestino. *Distribución y hospederos*: Presa El Novillo: *Ictalurus furcatus* (Rosas-Valdez y Pérez-Ponce de León, 2008). *Material depositado*: CNHE (5927).

Ciclo de vida: no conocido para esta especie en particular, pero a partir de los ciclos estudiados se ha establecido un patrón general: el desarrollo de es-

tos céstodos involucra a un copépodo como primer hospedero intermediario, en el que se forma un procercoide. En algunas especies el procercoide es infectivo para el hospedero definitivo (peces, anfibios o reptiles, según la especie), pero en otras migra a las vísceras de éste y se transforma en plerocercóide, antes de emerger como adulto en la luz de su intestino. En el ciclo generalmente intervienen hospederos paraténicos (Roberts y Janovy, 2005).

Ophiotaenia magna Hannum, 1925
(figura 2.5)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Burse y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89183).

Ciclo de vida: véase patrón descrito anteriormente.

Taeniidae Ludwig, 1886

Taenia serialis (Gervais, 1847)
(figura 2.6)

Estado de desarrollo: metacéstodo (cenuro). *Hábitat:* musculatura. *Distribución y hospederos:* Puerto Peñasco: *Lepus californicus* (Lamothe-Argumedo *et al.*, 1997). *Material depositado:* CNHE (414, 415 y 511-513).

Ciclo de vida: los adultos, que se alojan en el intestino de cánidos (hospederos definitivos), liberan huevos con las heces del hospedero; éstos son ingeridos por hospederos intermediarios (lagomorfos), desarrollándose un metacéstodo (cenuro) en su musculatura. Cuando el hospedero intermediario es ingerido por el definitivo, el metacéstodo se adhiere a su intestino, transformándose en adulto (Roberts y Janovy, 2005).

Acanthocephala (Rudolphi, 1808)

Oligacanthorhynchidae Southwell y MacFie, 1925
Oligacanthorhynchidae gen. sp.

Estado de desarrollo: cistacanto. *Hábitat:* cavidad del cuerpo, estómago, mesenterio, peritoneo. *Distribución y hospederos:* 20 millas E de Navojoa: *Trimorphodon tau* (Goldberg y Bursey, 2004b); Cananea: *Phrynosoma ditmarsii* (Goldberg y Bursey,

2000b); Choquinahui: *Oxybelis aeneus* (Goldberg y Bursey, 2001); Minas Nuevas: *Masticophis mentovarius* (Goldberg y Bursey, 2004b); ND: *Crotalus willardi* (Goldberg y Bursey, 2000a), *Pachymedusa dactylicolor* (Goldberg y Bursey, 2002), *Rhinocheilus lecontei* (Goldberg *et al.*, 1998); Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Burse y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89184, 89269, 89819, 90585, 92435, 95048 y 95059).

Ciclo de vida: se desconoce para gran parte de los géneros de la familia; recientemente se estableció el ciclo biológico de *Oligacanthorhynchus tortuosa*, una especie ampliamente distribuida en México parasitando marsupiales (véase Monet-Mendoza *et al.*, 2005); en él interviene un milípodo como hospedero intermediario, en el que se desarrolla la larva infectiva (cistacanto), la cual es liberada en el intestino del hospedero definitivo, donde alcanza el estado adulto (Richardson, 2006).

Nematoda Rudolphi, 1808

Anisakidae (Railliet y Henry, 1912) Skjabin y Karokhin, 1945

Contracaecum sp.
(figura 3.1)

Estado de desarrollo: larva. *Hábitat:* cavidad del cuerpo. *Distribución y hospederos:* Arroyo Aguajita: *Poeciliopsis monarca*, *Poeciliopsis occidentalis*, *Poeciliopsis prolifica* (Vrijenhoek, 1978); Esperanza: *Ictalurus punctatus* (Hernández-Martínez, 1992); Presa El Novillo: *Micropterus salmoides* (Lowe *et al.*, 1977). *Material depositado:* USNPC (89796, 89802 y 89832).

Ciclo de vida: los hospederos definitivos de los miembros de este género son aves piscívoras y mamíferos asociados con peces (dulceacuícolas, marinos o estuarinos); las hembras de estos parásitos ponen sus huevos en el estómago del hospedero y éstos salen con las heces. En el agua el huevo desarrolla la larva de primer estadio y más tarde la larva de segundo estadio (L₂). La L₂ eclosiona en el agua y es consumida por hospederos intermediarios (especialmente copépodos), estableciéndose en su hemocele. Los peces que consumen en su dieta estos invertebrados desarrollan la larva de tercer estadio (Anderson, 2000).

Ascarididae Baird, 1853

Ophidascaris ochoterenai Caballero, 1939
(figura 3.2)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* estómago. *Distribución y hospederos:* 20 millas-E de Navojoa: *Trimorphodon tau* (Goldberg y Bursey, 2004b). *Sin material depositado.*

Ciclo de vida: el género *Ophidascaris* contiene aproximadamente 25 especies; sin embargo, sólo se ha establecido para dos de ellas: *O. labiatopapillosa* y *O. moreliae*. En ambas especies, los huevos, conteniendo larvas infectivas, son eliminados con las heces del hospedero definitivo (serpientes y lagartijas). Cuando un hospedero intermediario (un anfibio o un mamífero pequeño) ingiere los huevos, se libera una larva de segundo estadio que se aloja en tejido subcutáneo. El hospedero definitivo se infecta a través de la ingesta del intermediario (Anderson, 2000).

Porrocaecum sp.
(figura 3.3)

Estado de desarrollo: Larva. *Hábitat:* mesenterio. *Distribución y hospederos:* ND: *Thamnophis validus* (Goldberg y Bursey, 2004a). *Material depositado:* USNPC (92783).

Ciclo de vida: los huevos del nemátodo son liberados al medio junto con las heces del hospedero definitivo (aves), en donde se desarrollan el primer y segundo estadio larval; éstos son consumidos por lombrices de tierra, liberando larvas que invaden sus vasos sanguíneos y se desarrollan al tercer estadio. La infección al hospedero definitivo ocurre a través de la ingestión de las lombrices terrestres o bien de hospederos paraténicos (peces, anfibios y ocasionalmente reptiles), que se alimentan de lombrices parasitadas (Anderson, 2000).

Atractidae (Railliet, 1917) Travassos, 1919

Atractis impura Caballero, 1944
(figura 3.4)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus* sp. (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP.

Ciclo de vida: no se conoce para esta especie. Los miembros de la familia Atractidae se pueden encontrar en anfibios, reptiles, mamíferos y peces. El desarrollo de sus huevos es inusual, ya que la larva del tercer estadio se desarrolla dentro del útero y autoinfecta al hospedero. Se ha señalado que la infección entre tortugas probablemente ocurra durante la etapa de atracción sexual (Anderson, 2000).

Cyrtosomum scelopori Geddoelst, 1919
(figura 3.5)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino, cloaca. *Distribución y hospederos:* ND: *Ctenosaura hemilopha* (Gambino y Heyneman, 1960). *Sin material depositado.*

Ciclo de vida: véanse notas sobre *Atractis impura*.

Cyrtosomum penneri Gambino, 1957

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Callisaurus draconoides gabbbii* (Gambino y Heyneman, 1960). *Sin material depositado.*

Ciclo de vida: véanse notas sobre *Atractis impura*.

Cosmocercidae (Railliet, 1916)

Aplectana incerta Caballero, 1949
(figura 3.6)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Ollotis mazatlanensis*, *Smilisca baudini* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89799 y 89829).

Ciclo de vida: no se cuenta con información sobre el ciclo de vida de esta especie. Sin embargo, el género *Aplectana* tiene un ciclo de vida directo. En el intestino del hospedero definitivo (anuros) las hembras producen huevos que larvan en el útero. Éstos son liberados junto con las heces y son depositados en el agua, donde se desarrollan las larvas de segundo y tercer estadio; esta última penetra la piel del hospedero y migra hacia el recto. La larva que se encuentra en el agua también puede ser ingerida por renacuajos y desarrollar el adulto; de igual for-

ma, el parásito puede ser retenido a través de la metamorfosis o un anuro adquirir el parásito cuando ingiere un renacuajo infectado (Anderson, 2000).

Aplectana itzocanensis Bravo-Hollis, 1943

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Anaxyrus kelloggi*, *Ollotis mazatlanensis*, *Leptodactylus melanonotus*, *Pachymedusa dactylicolor*, *Smilisca baudini* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89795, 89800, 89810, 89816 y 89830).

Ciclo de vida: véanse notas sobre *Aplectana incerta*.

Cosmocerca podicipinus Baker y Vaucher, 1984 (figura 3.7)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Leptodactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89811).

Ciclo de vida: se conoce para unas cuantas especies del género, entre las que no se incluye *C. podicipinus*. En especies como *Cosmocercoides commutata*, de los huevos que son liberados al medio junto con las heces del anfibio (hospedero definitivo), emerge una larva que muda pocos días después. Esta larva penetra la piel del anfibio, migrando a los pulmones para finalmente establecerse en el intestino (Anderson, 2000).

Cosmocercella haberi Steiner, 1924 (figura 3.8)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Pachymedusa dactylicolor* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89817).

Ciclo de vida: no conocido para el género.

Diaphanocephalidae Travassos, 1920

Kalicephalus inermis Molin, 1861 (figura 4.1)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* 20 millas-E de Navojoa: *Tri-*

morphodon tau (Goldberg y Bursey, 2004b). *Material depositado:* USNPC (95057).

Ciclo de vida: son parásitos del tubo digestivo de serpientes y raramente de lagartos. Las hembras depositan sus huevos en un avanzado estado de segmentación (mórula). El desarrollo del huevo y los estadios larvales son rápidos en el agua. Las larvas invaden el estómago y la pared intestinal y se enquistan en la mucosa donde se desarrolla la larva de cuarto estadio. Se desconoce cómo se infectan las serpientes en condiciones naturales (Anderson, 2000).

Gnathostomatidae Railliet, 1895

Spiroxys sp. (figura 4.2)

Estado de desarrollo: larva. *Hábitat:* mesenterio. *Distribución y hospederos:* ND: *Leptodactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89814).

Ciclo de vida: son parásitos de la mucosa gástrica de tortugas. Los huevos son depositados en el agua por la hembra en el primero de dos estados celulares. Cuando éstos son liberados, se desarrolla la segunda larva dentro de la cutícula de la primera; posteriormente, las larvas son ingeridas por copépodos del género *Cyclops* y dentro del hemocele de estos invertebrados se desarrolla la larva de tercer estadio, la cual es infectiva para el hospedero definitivo. Sin embargo, los copépodos generalmente son ingeridos por hospederos paraténicos (peces, ranas), en cuyo mesenterio se enquistan (Anderson, 2000).

Kathlaniidae (Lane, 1914) Travassos, 1918

Falcaustra inglisi (Anderson, 1964) Baker, 1980

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumaranae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89186).

Ciclo de vida: no es conocido con precisión para las especies del género; sin embargo, se han identificado larvas del tercer estadio de *Falcaustra* spp. en peces y caracoles de agua dulce. Probablemente la infección al hospedero definitivo sea por vía oral

y los caracoles y peces actúen como hospederos paraténicos (Anderson, 2000).

Falcaustra lowei Bursey y Goldberg, 2001
(figura 4.3)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89178).

Ciclo de vida: véanse comentarios para *Falcaustra inglisi*.

Molineidae (Skrjabin y Schulz, 1937) Durette-Desset y Chabaud, 1977

Oswaldocruzia pipiens Walton, 1929
(figura 4.4)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* estómago, intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Ollotis mazatlanensis*, *Leptodactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002); Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89188, 89801 y 89812).

Ciclo de vida: los huevos son depositados por las hembras junto con sus heces, en las cuales se desarrollan las larvas de primer estadio. Posteriormente, estas larvas son liberadas en el medio, en donde alcanzan el tercer estadio, infectivo para el hospedero definitivo; la infección del hospedero definitivo se presenta por penetración cutánea (Anderson, 2000).

Onchocercidae (Leiper, 1911)

Macdonaldius andersoni Chabaud y Frank, 1961
(figura 4.5)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* arteria iliaca. *Distribución y hospederos:* ND: *Heloderma suspectum* (CNHE). *Material depositado:* CNHE (3664).

Ciclo de vida: no se conoce para esta especie; sin embargo, se cuenta con información sobre especies como *M. oschei*, en la que las microfilarias invaden y se desarrollan en los tubos de Malpigio del vector (un díptero o una garrapata); después de 14-20 días ocurre la primer muda y 20-25 días más adelante, la

segunda. La larva migra y se aloja en la musculatura subfaríngea del vector, que la transmite por piquete al hospedero definitivo (Anderson, 2000).

Foleyellides striatus (Ochoterena y Caballero, 1932) Caballero, 1935
(figura 4.6)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* cavidad del cuerpo. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89187).

Ciclo de vida: no se tiene información sobre el mismo, aunque probablemente siga un patrón similar al descrito para las especies del género *Macdonaldius* (véase arriba).

Oxyuridae Cobbold, 1864

Heteromyoxyuris longejector Quentin, 1973

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* Mazatán: *Perognathus amplus* (García-Prieto *et al.*, 2008). *Material depositado:* CNHE (5252).

Ciclo de vida: los miembros de la familia Oxyuridae son estrictamente monoxenos. Típicamente, las hembras producen huevos de cáscara gruesa y operculados. En algunas especies, los huevos son depositados en estados tempranos de desarrollo y alcanzan el estado infectivo cuando salen con las heces del hospedero. En otros miembros del grupo, las hembras grávidas migran del ano del hospedero y depositan los huevos en la región perianal, donde completan su desarrollo hasta el estado infectivo; los huevos son entonces transferidos del ano a la boca del hospedero por vía manual (Anderson, 2000).

Pharyngodonidae Travassos, 1919

Alaeuris caballeroi Petter y Douglass, 1976
(figura 4.7)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus agassizi* (Petter y Douglass, 1976) *Material depositado:* MNHNP. *Ciclo de vida:* el ciclo de vida es desconocido. Sin em-

bargo, en otras especies del género (por ejemplo: *A. caudatus* y *A. vogelsangi*) se desarrollan dos tipos de hembras; las del primer tipo liberan huevos no embrionados, que salen con las heces del hospedero definitivo (tortuga); en el ambiente, los huevos embrionan y se desarrollan en su interior larvas de tercer estadio, que son infectivas para el reptil. El segundo tipo de hembras producen huevos conteniendo larvas totalmente desarrolladas, mismas que al ser liberadas en el intestino del hospedero, son autoinfectivas (Anderson, 2000).

Alaeuris gopheri Petter y Douglass, 1976

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus agassizi*, *Gopherus flavomarginatus* (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP. *Ciclo de vida:* véanse comentarios sobre *Alaeuris caballeroi*.

Alaeuris kinsellai Petter y Douglass, 1976

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus agassizi* (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP. *Ciclo de vida:* véanse comentarios sobre *Alaeuris caballeroi*.

Alaeuris longicollis (Walton, 1927) Petter y Douglass, 1976

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus agassizi* (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP. *Ciclo de vida:* véanse comentarios sobre *Alaeuris caballeroi*.

Alaeuris paramazzottii Petter y Douglass, 1976

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus agassizi* (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP. *Ciclo de vida:* véanse comentarios sobre *Alaeuris caballeroi*.

Gopheruris aspicula Petter y Douglass, 1976 (figura 4.8)

Estado de desarrollo: ND. *Hábitat:* colon. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus* sp. (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP. *Ciclo de vida:* desconocido para el género.

Spauligodon giganticus (Read y Amrein, 1953) (figura 5.1)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Sceloporus jarrovi* (Goldberg et al., 1996). *Sin material depositado.*

Ciclo de vida: directo, la infección al hospedero definitivo ocurre a través de la ingestión de huevos (Goldberg et al., 1996).

Tachygonetria dentata (Drasche, 1884)

Estado de desarrollo: ND. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus* sp. (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP.

Ciclo de vida: las especies de este género pueden producir dos tipos de huevos: los del primer tipo (no embrionados) son eliminados con las heces del hospedero definitivo, madurando hasta larva de tercer estadio dentro de los huevos, los cuales al ser ingeridos se desarrollan hasta adultos en el intestino de sus hospederos. El segundo tipo de huevo contiene larvas totalmente desarrolladas; estos huevos liberan a la larva en el intestino del hospedero definitivo, produciéndose la autoinfección (Anderson, 2000).

Tachygonetria macrolaimus (Von Linstow, 1899) (figura 5.2)

Estado de desarrollo: ND. *Hábitat:* intestino. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus* sp. (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP.

Ciclo de vida: véanse notas para *T. dentata*.

Thaparia microcephala Petter y Douglass, 1976 (figura 5.3)

Estado de desarrollo: ND. *Hábitat:* colon. *Distribución y hospederos:* desierto: *Gopherus* sp. (Petter y Douglass, 1976). *Material depositado:* MNHNP. *Ciclo de vida:* los miembros del orden Oxyurida, al que pertenece este género, tienen ciclos de vida directos, infectando a sus hospederos definitivos a través de la ingestión de huevos (Anderson, 2000).

Physalopteridae (Railliet, 1893) Leiper, 1908
Physaloptera retusa Rudolphi, 1819

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* estómago. *Distribución y hospederos:* ND: *Sceloporus jarrovi* (Goldberg et al., 1996). *Sin material depositado.* *Ciclo de vida:* véanse comentarios (abajo) para *Physaloptera* sp.

Physaloptera sp.
(figura 5.4)

Estado de desarrollo: larva. *Hábitat:* estómago. *Distribución y hospederos:* Cananea: *Phrynosoma ditmarsii* (Goldberg y Buersey, 2000b); ND: *Anaxyrus kelloggi*, *Ollotis mazatlanensis*, *Pachymedusa dactinicolor*, *Smilisca baudini* (Goldberg y Buersey, 2002); Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Buersey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89189, 89268, 89797, 89803, 89818 y 89833). *Ciclo de vida:* de manera general, los adultos de este género se encuentran en el estómago de sus hospederos (reptiles, aves y mamíferos). Los huevos salen con las heces del hospedero conteniendo una larva de primer estadio. Éstos, al ser ingeridos por insectos, liberan a la larva que invade la pared del intestino, sufriendo dos mudas para transformarse en larva de tercer estadio. Esta larva es infectiva para el hospedero definitivo, que se parasita al ingerir a los insectos al igual que los hospederos paraténicos (anfibios y reptiles) (Anderson, 2000).

Skryabinoptera phrynosoma (Ortlepp, 1922) Schulz, 1927
(figura 5.5)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* boca (?), esó-

fago (?), estómago, intestino. *Distribución y hospederos:* ND: *Phrynosoma ditmarsii* (Roth, 1971), *Phrynosoma hernandesi* (Walton, 1927), *Phrynosoma mcallii* (Goldberg et al., 1993). *Material depositado:* USNPC (82645).

Ciclo de vida: su transmisión revela adaptaciones inusuales para sobrevivir en condiciones de aridez. Los huevos en el útero son contenidos por cápsulas de paredes gruesas, con 5 a 69 huevos. Las hembras grávidas son liberadas con las heces del hospedero; los huevos dentro de las cápsulas o de las hembras muertas pueden sobrevivir períodos muy largos en condiciones de sequía. Los hospederos intermediarios son hormigas, cuyas larvas ingieren los huevos y en ellas se desarrolla el tercer estadio de este nemátodo. Ésta es la fase infectiva para el reptil, que se parasita al ingerir hormigas infectadas (Anderson, 2000).

Quimperidae (Gendre, 1928) Baylis, 1930
Subulascaris falcaustriformis Teixeira de Freitas y Dobbin, 1957
(figura 5.6)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* cavidad del cuerpo. *Distribución y hospederos:* Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Buersey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89191).

Ciclo de vida: poco estudiado para los miembros de esta familia en general. Observaciones preliminares sobre el desarrollo de especies de otros géneros (v.g., *Paraquimperia*) sugieren que el ciclo es indirecto e involucra la participación de peces o insectos como hospederos paraténicos (Anderson, 2000).

Rhabdiasidae Railliet, 1916
Rhabdias americanus Baker, 1978
(figura 5.7)

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* pulmones. *Distribución y hospederos:* ND: *Anaxyrus kelloggi*, *Ollotis mazatlanensis*, *Smilisca baudini* (Goldberg y Buersey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89796, 89802 y 89832).

Ciclo de vida: las larvas entran al hospedero definitivo por penetración de la piel, para posteriormente

migrar hacia la cavidad del cuerpo y desarrollar larvas del tercer y cuarto estadios, así como el adulto inmaduro hermafrodita. El adulto inmaduro invade los pulmones y en ellos madura y produce huevos. Los huevos pasan por el sistema respiratorio del hospedero, son deglutidos y salen con las heces para depositarse en el ambiente (Anderson, 2000).

Rhabdias ranae Walton, 1929

Estado de desarrollo: adulto. *Hábitat:* pulmones. *Distribución y hospederos:* ND: *Leptodactylus melanonotus* (Goldberg y Bursey, 2002); Yécora: *Lithobates tarahumarae* (Bursey y Goldberg, 2001). *Material depositado:* USNPC (89190 y 89813).

Ciclo de vida: al igual que en el caso de *R. americana*, la infección del anfibio por esta especie ocurre a través de penetración cutánea, siguiendo un desarrollo similar al referido previamente (Anderson, 2000).

Spiroceridae (Chitwood y Wehr, 1932)

Physocephalus sp.

(figura 5.8)

Estado de desarrollo: larva. *Hábitat:* mesenterio. *Distribución y hospederos:* ND: *Ollotis mazatlanensis* (Goldberg y Bursey, 2002). *Material depositado:* USNPC (89804). *Ciclo de vida:* Conocido para *Physocephalus sexalatus*, especie que parasita el estómago de mamíferos. Los hospederos intermediarios son escarabajos, donde la larva de primer estadio que emerge de los huevos muda dos veces, transformándose en infectiva (de tercer estadio) para el hospedero definitivo que se infecta al ingerir los escarabajos. Esta misma vía de infección explica la presencia de la larva infectiva en anfibios, reptiles y aves (Anderson, 2000).

LITERATURA CITADA

ANDERSON, R.C. 2000. Nematode Parasites of Vertebrates. Their Development and Transmisión. *CABI Publishing*, Wallingford, Inglaterra.

BLAUSTEIN, A.R., J.M. ROMANSIC, J.M. KIESECKER y A.C. HATCH. 2003. Ultraviolet Radiation, Toxic Chemicals and Amphibians Population Declines.

Diversity and Distributions 9: 123-140.

BROOKS, D.R., D. MCLENNAN, V. LEÓN-RÉGAGNON y E. HOBERG. 2006. Phylogeny, Ecological Fitting and Lung Flukes: Helping Solve the Problem of Emerging Infectious Diseases. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 225-233.

BROOKS, D.R., V. LEÓN-RÉGAGNON y G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN. 2001. Los parásitos y la biodiversidad. En: H. Hernández, A. García-A., F. Álvarez y M. Ulloa. eds. Enfoques contemporáneos para el estudio de la Biodiversidad. Ediciones Científicas Universitarias, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica, México, pp. 245-289.

BROOKS, D.R. y D. MCLENNAN. 1993. *Parasitism. Parasites and the Language of Evolution*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

BROOKS, D.R. y E.P. HOBERG. 2000. Triage for the Biosphere: The Need and Rationale for Taxonomic Inventories and Phylogenetic Studies of Parasites. *Comparative Parasitology* 67: 1-25.

BROOKS, D.R. y E.P. HOBERG. 2006. Systematics and Emerging Infectious Diseases: from Management to Solution. *Journal of Parasitology* 92: 426-429.

BURSEY, R.C. y S.R. GOLDBERG. 2001. *Falcaustra lowei* n. sp. and other Helminths from the Tarahumara frog, *Rana tarahumarae* (Anura: Ranidae) from Sonora, México. *Journal of Parasitology* 87: 340-344.

COIL, W.H. 1954. Contributions to the Life Cycles of Gorgoderid Trematodes. *American Midland Naturalist* 32: 481-500.

CONN, D.B. 1985. Life Cycle and Postembryonic Development of *Oochoristica anolis* (Cyclophyllidea: Linstowiidae) *Journal of Parasitology* 71: 10-16.

CRAWFORD, W.W. 1937. A Further Contribution to the Life History of *Alloglossidium corti* (Lamont), with Especial Reference to Dragonfly Naiads as Second Intermediate Hosts. *Journal of Parasitology* 23: 389-399.

DASZAK, P., A.A. CUNNINGHAM y A.A. HYATT. 2003. Infections Disease and Amphibian Population Declines. *Diversity and Distributions* 9: 141-150.

ESCH, G.W. y J.C. FERNÁNDEZ. 1993. A Functional Biology of Parasitism. Chapman and Hall, Londres.

GAMBINO, J.J. y D. HEYNEMAN. 1960. Specificity and Speciation in the Genus *Cyrtosomum* (Nematoda: Atractidae) *American Midland Naturalist* 63: 365-382.

GARCÍA-PRÍETO, L., J. FALCÓN-ORDAZ, G. LIRA-GUERRERO y B. MENDOZA-GARFÍAS. 2008. A New Species of *Heteromyoxyuris* (Nematoda: Oxyuridae),

- Parasite of *Perognathus Flavus* (Rodentia: Heteromyidae) from Mexico. *Journal of Parasitology* 94.
- GARRIDO-OLVERA, L., L. GARCÍA-PRIETO y G. PÉREZ PONCE DE LEÓN. 2006. Checklist of the Adult Nematode Parasites of Fishes in Freshwater Localities from Mexico. *Zootaxa* 1201: 1-45.
- GOLDBERG, R.S., C.R. BURSEY y H.J. HOLSHUH. 1998. Prevalence and Distribution of Cystacanths of an Oligacanthorhynchid Acanthocephalan from the Longnose Snake, *Rhinocheilus lecontei* (Colubridae) in Southwestern North America. *Journal of the Helminthological Society of Washington* 65: 262-265.
- GOLDBERG R.S., C.R. BURSEY y R.L. BEZY. 1996. Gastrointestinal Helminths of Yarrow's Spiny Lizard, *Sceloporus jarrovi* (Phrynosomatidae) in Mexico. *American Midland Naturalist* 135: 299-309.
- GOLDBERG, R.S., C.R. BURSEY y R. TAWIL. 1993. Gastrointestinal Helminths of Five Horned Lizard Species, *Phrynosoma* (Phrynosomatidae) from Arizona. *Journal of the Helminthological Society of Washington* 60: 234-238.
- GOLDBERG R.S. y C.R. BURSEY. 2000a. *Crotalus mitchellii* (Speckled Rattlesnake) and *Crotalus willardi* (Ridgenose Rattlesnake) Endoparasites. *Herpetological Review* 31: 104.
- GOLDBERG R.S. y C.R. BURSEY. 2000b. *Phrynosoma dimarsii*. Endoparasites. *Herpetological Review* 31: 242.
- GOLDBERG R.S. y C.R. BURSEY. 2001. *Hypsiglena torquata* (Nighth snake) and *Oxybelis aeneus* (Brown vine snake). Endoparasites. *Herpetological Review* 32: 263.
- GOLDBERG R.S. y C.R. BURSEY. 2002. Helminth Parasites of Seven Anuran Species from Northwestern Mexico. *Western North American Naturalist* 62: 160-169.
- GOLDBERG R.S. y C.R. BURSEY. 2004a. *Thamnophis validus*. Endoparasites. *Herpetological Review* 31: 75.
- GOLDBERG R.S. y C.R. BURSEY. 2004b. Coelomic Endoparasites in four Species of Colubrid snakes, *Drymobius margaritiferus*, *Masticophis mentovarius*, *Salvadora mexicana* and *Trimorphodon tau* from Mexico. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 40: 179-183.
- GOODMAN, J.D. 1989. *Langeronia brenesi*, New Species (Trematoda: Lecithodendriidae) in the Mountain Yellow-Legged frog *Rana muscosa* from Southern California USA. *Transactions of the American Microscopical Society* 108: 387-393.
- HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M. 1992. Estudio helmintológico de tres especies de peces cultivados en dos centros acuícolas del estado de Sonora, México. *Universidad y Ciencia* 9: 111-115.
- HIRAI, H., H. OOISO, T.K. KIFUNE, T. KIYOTA e Y. SAKAGUCHI. 1987. *Clinostomum complanatum* Infection in Posterior of Pharynx of Human. *Japan Journal of Parasitol* 36: 142-144.
- HOROWITZ, P. y B.A. WILCOX. 2005. Parasites, Ecosystems and Sustainability: An Ecological and Complex Systems Perspective. *International Journal of Parasitology* 35: 725-732.
- JOHNSON, P.T., J.K.B. LUNDE, E.M. THURMAN, E.G. RITCHIE, S.N. WRAY, D.R. SUTHERLAND, J.M. KAPFER, T.J. FREST, J. BOWERMAN y A.R. BLAUSTEIN. 2002. Parasite (*Ribeiroia ondatrae*) Infection Linked to Amphibian Malformations in the Western United States. *Ecological Monographs* 72: 151-168.
- JONES, M.K. y B.L.J. DELVINQUIER. 1991. Nematotaeiid cestodes from Australian Anura. *Memoirs of Queensland Museum* 30: 492.
- LAMOTHE-ARGUMEDO, R., G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN y L. GARCÍA-PRIETO. 1993. Helmintos parásitos de animales silvestres. En: S.E. González, R. Dirzo y R.C. Vogt, eds. *Historia natural de Los Tuxtlas, Veracruz*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 387-394.
- LAMOTHE-ARGUMEDO, R., L. GARCÍA-PRIETO, D. OSORIO-SARABIA y G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN. 1997. Catálogo de la Colección Nacional de Helmintos. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- LAMOTHE-ARGUMEDO, R., L. GARCÍA-PRIETO y G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN. 1991. Helmintos parásitos de vertebrados del área de influencia de Sian Ka'an, Quintana Roo, México. En: D. Navarro y J.G. Robinson, eds., *Diversidad Biológica en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an Quintana Roo, México*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo, México, pp. 131-135.
- LO, C.F., F. HUBER, G.H. KOU y C.J. LO. 1982. The Study of *Clinostomum complanatum* (Rud. 1819) II. The Life Cycle of *Clinostomum complanatum* APD. Fisheries Series núm. 8. *Diseases Research* IV: 26-56.
- LOWE O.P., P. FOLIOTT y J.G. GOODWIN. 1977. Nematode Parasites in Largemouth Bass in Presa del Novillo Reservoir, Sonora, Mexico. *Southwest Naturalist* 22: 537-538.
- MENDELSON III, J.R., K.R. LIPS, R.W. GAGLIARDO, G.B. RABB, J.P. COLLINS, J.E. DIFFENDORFER, P. DASZAK,

- R. IBÁÑEZ, K.C. ZIPPEL, D.P. LAWSON, K.M. WRIGTH, S.N. STUART, C. GASCON, H.R. DA SILVA, P.A. BURROWES, R.L. JOGÑAR, E. LA MARCA, S. LÖTTERS, L.H. DU PREEZ, C. WELDON, A. HYATT, J.V. RODRÍGUEZ-MAHECHA, S. HUNT, H. ROBERTSON, B. LOCK, C.J. RAXWORTHY, D.R. FROST, R.C. LACY, R.A. ALFORD, J.A. CAMPBELL, G. PARRA-OLEA, F. BOLAÑOS, J.J. CALVO, T. HALLIDAY, J.B. MURPHY, M.H. WAKE, L.A. COLOMA, S.L. KUZMIN, M. STANLEY P., K.M. HOWELL, M. LAU, R. PETHIYAGODA, M. BOONE, M.J. LANNOO, A.R. BLAUSTEIN, A. DOBSON, R.A. GRIFFITHS, M.L. CRUMP, D.B. WAKE y E.D. BRODIE JR. 2006. Biodiversity. Confronting Amphibians Decline and Extinctions. *Science* 313: 48.
- MONET-MENDOZA, A., D. OSORIO-SARABIA y L. GARCÍA-PRieto. 2005. Helminths of the Virginia opossum *Didelphis virginiana* (Mammalia: Didelphidae) in Mexico. *Journal of Parasitology* 91: 213-219.
- PADGETT, K.A. y W.M. VOICE. 2005. Ants as First Intermediate Hosts of *Mesocostoides* on San Miguel Island, USA. *Journal of Helminthology* 79: 67-73.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 1992. Sistemática del género *Posthodiplostomum* Dubois, 1936 y algunos aspectos epizootiológicos de la Postodiplostomiasis en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 477 p.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G. 2001. The Diversity of Digenans (Platyhelminthes: Cercomeria: Trematoda) in Vertebrates of Mexico. *Comparative Parasitology* 68: 1-8.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G., L. GARCÍA-PRieto, D. OSORIO-SARABIA y V. LEÓN-REGAGNON. 1996b. Listados faunísticos de México VI. Helminthos parásitos de peces de aguas continentales de México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN G., L. GARCÍA-PRieto y B. MENDOZA-GARFIAS. 2007. Trematode Parasites (Platyhelminthes) of Wildlife Vertebrates in Mexico. *Zootaxa* 1534: 1-246.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G., L. GARCÍA-PRieto y U. RAZO-MENDÍVIL. 2002. Species Richness of Helminth Parasites in Mexican Amphibians and Reptiles. *Diversity and Distributions* 8: 211-218.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G., V. LEÓN-REGAGNON y F. GARCÍA V. 1996a. Helminth Parasites of Some Bat Species from the Neotropical Region of Mexico. *Bat Research News*. 37: 3-6.
- PETTER, A.J. y J.F. DOUGLASS. 1976. Étude des populations d'oxyures du colon des Gopherus (Testudiniidae) *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle* 3: 731-768.
- PRUDHOE, S. y R.A. BRAY. 1982. *Platyhelminth Parasites of the Amphibia*. Oxford University Press, Inglaterra.
- RAZO-MENDÍVIL, U. 2004. Sistemática del género *Glypthelmins* Stafford. 1905 (Platyhelminthes: Digenaea) Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 343 p.
- RICHARDSON, D.J. 2006. Life cycle of *Oligacanthorhynchus tortuosa* (Oligacanthorhynchidae) an Acanthocephalan of the Virginia Opossum (*Didelphis virginiana*). *Comparative Parasitology* 73: 1-6.
- ROBERTS, L.S. y J. JANOVY. 2005. *7th. Edition Gerald D. Schmidt and Larry S. Roberts' Foundations of Parasitology*. McGraw-Hill Science Engineering, Boston.
- ROSAS-VALDEZ, R. y G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN. 2008. Composición taxonómica de los helmintos parásitos de ictalúridos y heptaptéridos (Osteychthyes: Siluriformes) de México, con una hipótesis de homología biogeográfica primaria. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79: 473-499.
- ROTH, V.D. 1971. Food Habits of Ditmars' Horned Lizard with Speculations on its Type Locality. *Journal of the Arizona Academy of Sciences* 6: 278-281.
- SALGADO-MALDONADO, G., R. Pineda-López, L. García-Magaña, S. López-Jiménez, V.M. VIDAL-MARTÍNEZ y L. AGUIRRE-MACEDO. 2005. *Helminthos parásitos de peces dulceacuícolas*. En: J. Bueno, F. Álvarez y S. Santiago, eds. Biodiversidad del Estado de Tabasco, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 145-166.
- SNYDER, S.D. y J. JANOVY. 1996. Behavioral Basis of Second Intermediate Host Specificity among Four Species of *Haematoloechus* (Digenaea: Haematoloechidae). *Journal of Parasitology* 82: 94-99.
- VRIJENHOEK, R.C. 1975. Effects of Parasitism on the Esterase Isoenzyme Patterns of Fish Eyes. *Comparative Biochemical Physiology* 50: 75-76.
- VRIJENHOEK, R.C. 1978. Genetic Differentiation among Larval Nematodes Infecting Fishes. *Journal of Parasitology* 64: 790-798.
- WALTON, A.C. 1927. A Revision of the Nematodes of the Leidy Collections. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 79: 49-163.
- YAMAGUTI, S. 1975. *A Synoptical Review of Life Histories of Digenetic Trematodes of Vertebrates*. Keigaku Publishing, Tokio.

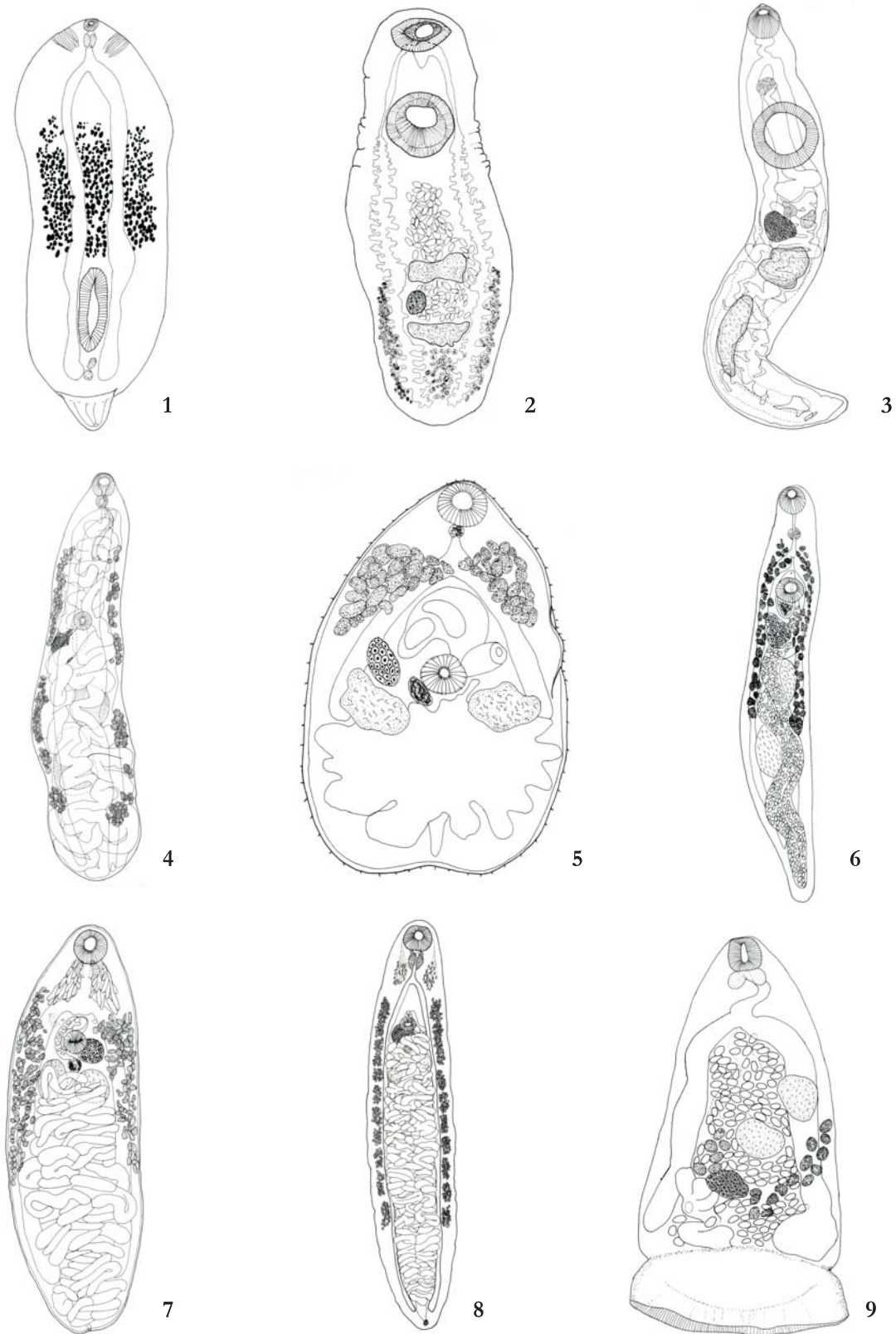


Figura 1. TREMATODOS: (1) *Diplostomum* sp. (2) *Clinostomum complanatum*. (3) *Gorgoderina attenuata*. (4) *Haematoloechus breviplexus*. (5) *Langeronia macrocirra*. (6) *Alloglossidium corti*. (7) *Glypthelmins quieta*. (8) *Rauschiella poncedeleoni*. (9) *Megalodiscus temperatus*.

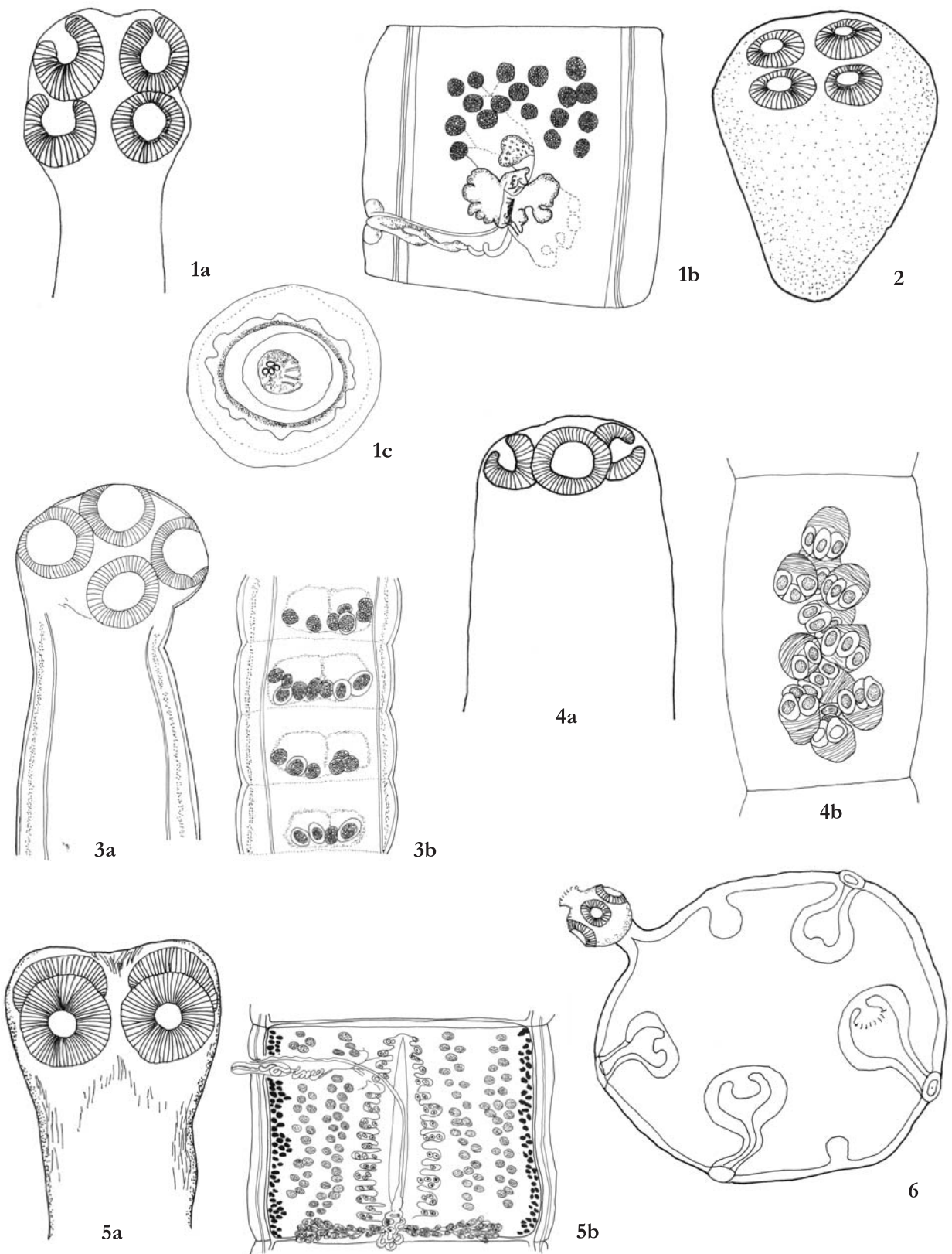


Figura 2. CESTODOS: (1) *Oochoristica scolopori*: a) escólex, b) proglótido maduro, c) huevo. (2) *Mesocestoides* sp. (tetratiridia). (3) *Cy lindrotaenia americana*: a) escólex, b) proglótidos grávidos. (4) *Nematotaenia dispar*; a) escólex, b) proglótido grávido. (5) *Ophio- taenia magna*: a) escólex, b) proglótido maduro. (6) *Taenia serialis* (coenuro).

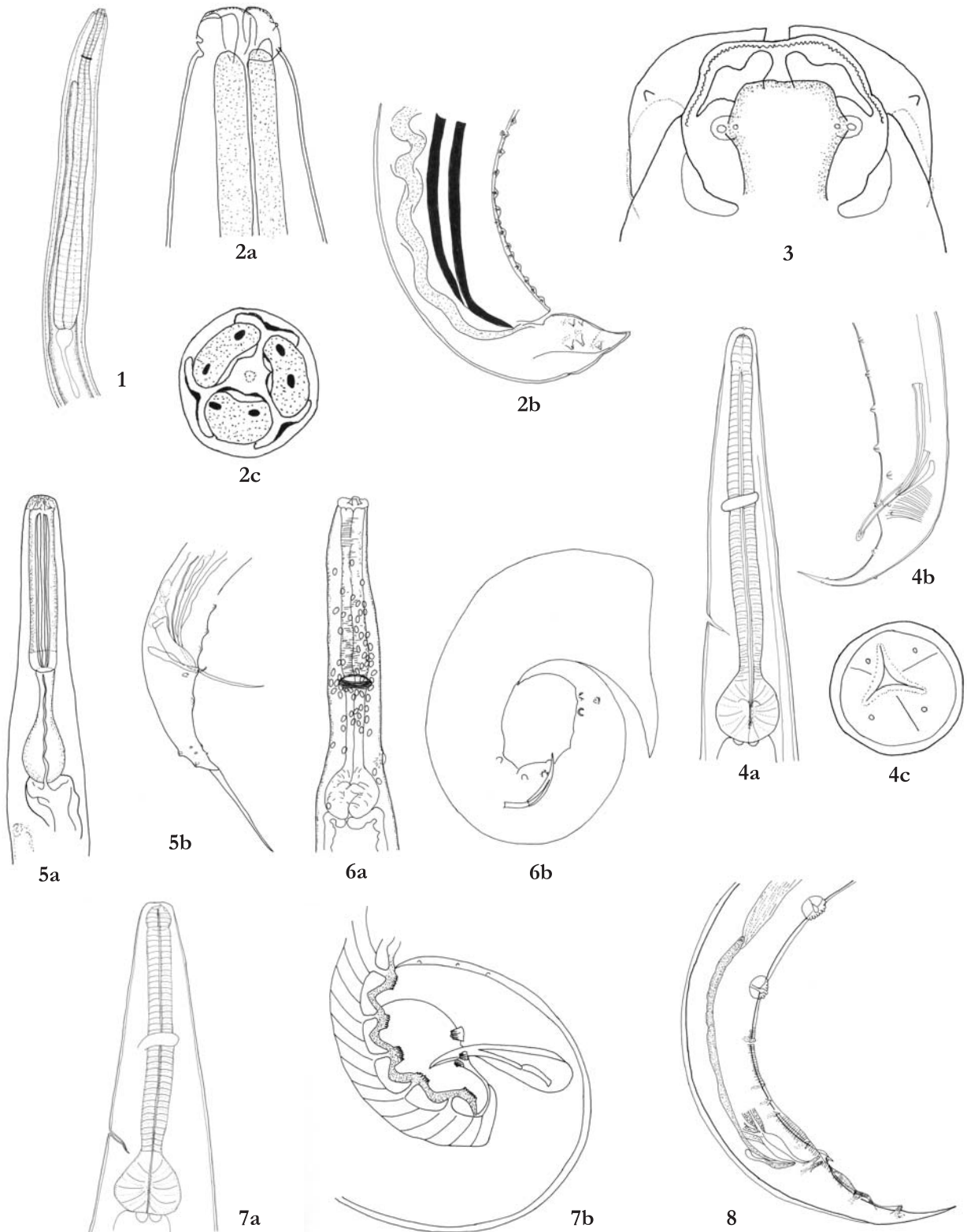


Figura 3. NEMATODOS: (1) *Contracaecum* sp. (larva), región anterior. (2) *Ophidascaris ochoterenai*: a) región anterior, b) región posterior, c) corte cefálico. (3) *Porrocaecum* sp., región anterior. (4) *Atractis impura*: a) región anterior, b) región posterior, c) corte cefálico. (5) *Cyrtosomum scelopori*: a) región anterior, b) región posterior. (6) *Aplectana incerta*: a) región anterior, b) región posterior. (7) *Cosmocerca podicipinus*: a) región anterior, b) región posterior. (8) *Cosmocerca haberi*, región posterior.

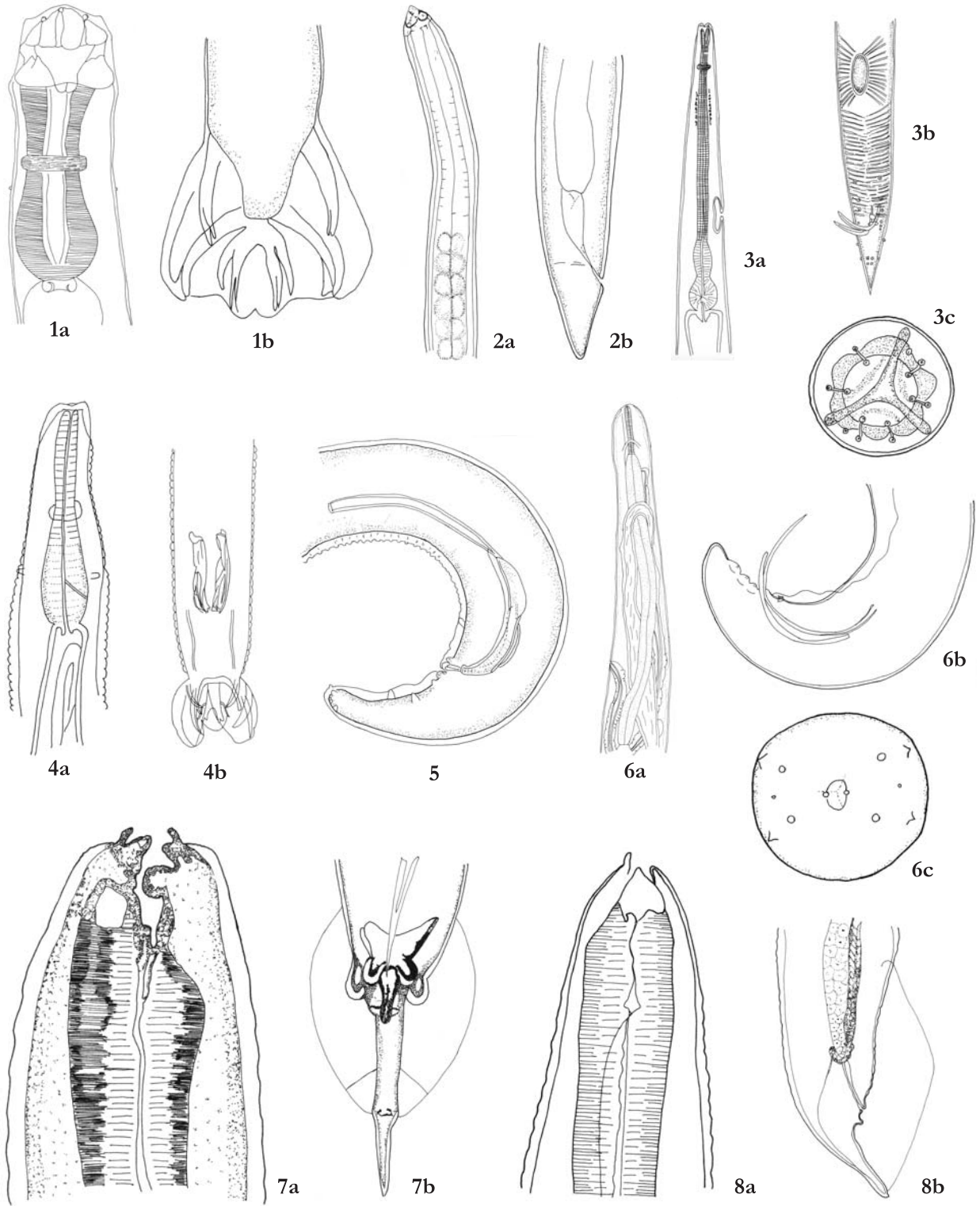


Figura 4. NEMATODOS: (1) *Kalicephalus inermis*: a) región anterior, b) región posterior. (2) *Spiroxys* sp.: a) región anterior, b) región posterior. (3) *Falcaustra lowei*: a) región anterior, b) región posterior, c) corte cefálico. (4) *Oswaldocruzia pipiens*: a) región anterior, b) región posterior. (5) *Macdonaldius andersoni*, región posterior. (6) *Foleyellides striatus*: a) región anterior, b) región posterior, c) corte cefálico. (7) *Alaeuris caballeroi*: a) región anterior, b) región posterior. (8) *Gopheruris aspacula*: a) región anterior, b) región posterior.

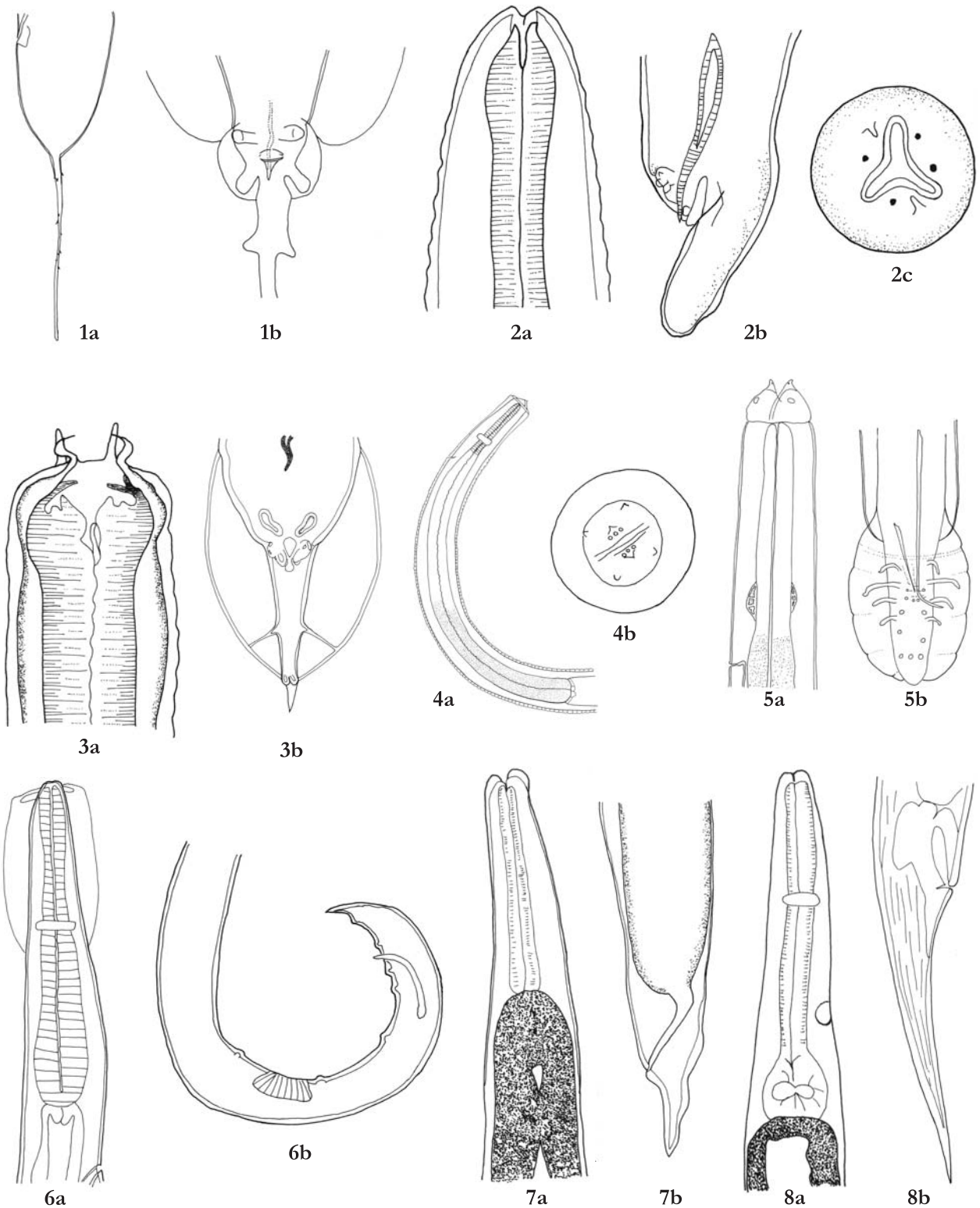


Figura 5. NEMATODOS: (1) *Spauligodon giganticus*: a) región posterior hembra, b) región posterior macho. (2) *Tachygonetria macrolaimus*: a) región anterior, b) región posterior, c) corte cefálico. (3) *Thaparia microcephala*: a) región anterior, b) región posterior. (4) *Physaloptera* sp. (larva): a) región anterior, b) corte cefálico. (5) *Skrjabinoptera phrynosoma*: a) región anterior, b) región posterior. (6) *Subulascaris falcaustriformis*: a) región anterior, b) región posterior. (7) *Rhabdias americanus*: a) región anterior, b) región posterior. (8) *Physocephalus* sp. (larva): a) región anterior, b) región posterior.

MOLUSCOS TERRESTRES

JIM I. MEAD,¹ EDNA NARANJO-GARCÍA,² LANCE H. GILBERTSON³ Y R. WAYNE VAN DEVENDER⁴

RESUMEN. En la actualidad se conocen 59 especies de moluscos terrestres del estado de Sonora repartidos en 27 géneros y distribuidos en 17 familias. Dentro de los taxones dominantes que se conocen de Sonora hay doce especies de la familia Pupillidae (micromoluscos), ocho del género *Holospira*, familia Urocoptidae, y quince del género *Sonorella*, familia Xanthonychidae. En la actualidad se desconoce qué tan compleja y rica es la fauna de Sonora y es necesario realizar más trabajo de campo para (1) documentar y describir nuevas especies que puedan estar presentes, en especial de géneros muy diversos como *Sonorella* y *Holospira*, (2) comprender mejor la distribución geográfica de las especies, (3) relacionar la distribución de las especies conocidas con las comunidades vegetales y parámetros climáticos, (4) determinar la localidad tipo de taxones encontrados en muestras de material acarreado por el agua, (5) estudiar la anatomía interna desconocida en varios taxones y (6) comparar la malacofauna actual con la fauna fósil para determinar las modificaciones que ha sufrido el mosaico de faunas con los cambios climáticos que han acontecido los últimos cien mil años.

ABSTRACT. Presently 59 species in 27 genera and 17 families of terrestrial mollusks are known from the state of Sonora. Among the dominant taxa, twelve species of Pupillidae (among the micromollusks), eight species of *Holospira* of the family Urocoptidae, and fifteen species of *Sonorella* of the Xanthonychidae are known to live today in Sonora. It is clear that we really do not understand how complex and rich the Sonoran malacofauna is today. Additional field work in Sonora is needed: (1) to locate presently undescribed species of various genera, that could be present, particularly of

speciose genera such as *Sonorella* and *Holospira*, (2) to better understand the geographic distribution of species, (3) to relate known distribution of species with plant communities and climatic features, (4) to determine the type locality of taxa based on drift material, (5) to study the soft anatomy of taxa where these data is lacking, and (6) to put the present malacofauna into a time perspective, the fossil faunas are in need of study to determine how the mosaics of the faunas have altered through the climatic changes known to have occurred over the past hundred thousand years.

INTRODUCCIÓN

Los caracoles terrestres de México y Estados Unidos han llamado la atención de los taxónomos por muchos años (Pilsbry 1939, 1940, 1946, 1948a, 1948b, 1953 y 1956). Thompson (2008) calculó que se conoce cerca de 35% de la fauna de México y Centroamérica, mientras que Naranjo-García (2003) piensa que se conoce en general diez por ciento de la malacofauna de México. Recientemente la filogenia de caracoles y babosas terrestres fue descrita por Wade *et al.* (2006); no obstante, con respecto al pasado reciente y a los últimos dos millones de años de historia de la Tierra (Pleistoceno) y los efectos de los cambios climáticos (episodios glaciales e interglaciales) sobre los caracoles y babosas terrestres en el norte de México, éstos aún no se han evaluado.

Mead *et al.* (2006 y 2007) registraron depósitos de caracoles fósiles en Térapa, al sur de Moctezuma, en el centro-este de Sonora, de aproximadamente cincuenta mil años de antigüedad. Como se espera de un depósito de un pantano, la mayo-

¹ East Tennessee State University.

² Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Natural History Museum of Los Angeles County.

⁴ Appalachian State University.

ría de los moluscos encontrados son acuáticos, entre ellos están las pequeñas almejas *Pisidium* y los caracoles planórbidos y limneidos. Los primeros caracoles terrestres identificados incluyen succínidos, *Gastrocopta cristata*, *G. pilsbryana* y *Gastrocopta* sp., *Vertigo ovata* y *Vertigo* sp. (Mead, datos pers. sin publ.). Faltan más estudios sobre comunidades de caracoles fósiles para entender cómo se han modificado éstas en respuesta a los grandes cambios climáticos de los pasados cien mil años.

Naranjo-García (1993) elaboró una breve historia de los estudios sobre moluscos recientes del oeste de México que incluye a Sonora, cuya malacofauna pertenece en gran parte a lo que Bequaert y Miller (1973) llamaron la Provincia de Moluscos del Suroeste (Southwestern Molluscan Province). No obstante, a pesar del panorama detallado del gran suroeste tratado por Bequaert y Miller (1973), el conocimiento de la malacofauna del estado de Sonora es limitado.

MALACOFAUNA SONORENSE

Con respecto a moluscos terrestres de Sonora se conoce un total de 59 especies pertenecientes a 27 géneros y 17 familias (véase apéndice en disco compacto). Dentro de los taxones dominantes están los Pupillidae (micromoluscos) con doce especies, *Holospira* de la familia Urocoptidae con ocho especies y *Sonorella* de la Xanthonychidae con quince. Sin embargo, la complejidad de las comunidades bióticas (Búrquez *et al.*, 1999; Búrquez y Martínez, 2004) y la amplia gama de climas de Sonora sugieren que la diversidad de moluscos es posiblemente mucho más rica que la registrada hasta la actualidad.

Los moluscos de las islas bajo la jurisdicción de Sonora son muy poco conocidos y representan un campo virgen para la exploración malacológica que merecería un capítulo aparte.

Con relación al tratamiento taxonómico se sigue la clasificación de Vaught (1989) y Schileyko (1991; véase apéndice en disco compacto). Algunas especies han sido bien estudiadas taxonómicamente mientras que otras necesitan estudiarse. Los

caracoles de concha grande (con más de 0.5 cm de diámetro) como *Sonorella* (Xanthonychidae), *Holospira* (Urocoptidae) y *Oreohelix* (Oreohelicidae) son los moluscos sonorenses mejor estudiados [*Sonorella* formaba parte de la familia Helminthoglyptidae; sin embargo, Schileyko (1991) coloca el género en la Xanthonychidae]. Numerosas especies pequeñas (micromoluscos, con diámetro menor a 0.5 cm) que habitan en la hojarasca, macizos de pastos y otros microhábitats protegidos necesitan de una extensa revisión (Naranjo-García, 1991).

En Sonora no se han encontrado babosas Limacidae vivas (Naranjo-García, 1991). Al parecer *Deroceras*, posiblemente *D. laeve*, es la única babosa nativa de la Provincia Malacológica del Suroeste (Pilsbry, 1948a; Bequaert y Miller, 1973). En yacimientos modernos y fósiles al sur de Arizona cerca de la frontera se han recuperado las conchas internas de esta babosa (Mead, 1991). Si consideramos que especies de *Deroceras* recientes en el suroeste habitan bosques a gran altitud (Pilsbry, 1948a), podría encontrarse algún representante del género en la sierra de los Ajos en el norte de Sonora o en los bosques de pino-encino de la Sierra Madre Occidental al este de Sonora (Mead, datos sin publ.). La posibilidad de agregar babosas Limacidae a la fauna de Sonora en nuevas recolectas se incrementa ya que se han registrado babosas sin concha de la familia Philomycidae en la sierra Púrica (véase apéndice en disco compacto).

Por otro lado, *Humboldtiana ootamorum* es un caracol grande que representa una intrusión del género por el este del estado. El género se distribuye principalmente en las tierras altas del Altiplano Mexicano (Bequaert y Miller, 1973). Fue descrito recientemente del bosque de pino-encino en altitudes de 1 560-2 060 metros en el área de Yécora en la parte más oriental de Sonora (Mejía-Guerrero *et al.*, 2009); esa publicación constituye el primer registro del género en Sonora. Mejía-Guerrero (2005), con base en un análisis de dispersión vicariante, sugiere que el área ancestral de *Humboldtiana* se localiza al sur de Chihuahua, por lo que el registro del género en Sonora en la actualidad marca el límite oeste de su distribución.

En Sonora, los caracoles de la familia Urocoptidae (una de las familias con mayor número de especies en México) están representados por ocho especies de *Holospira*. Una de ellas, *H. ferrissi*, se localiza principalmente en Arizona, mientras que *H. cyclostomma* se encuentra hacia el sur en Sinaloa (como concha en material acarreado por el río). Las holospiras de Sonora y Sinaloa están separadas de otros miembros del género en México por la Sierra Madre Occidental y fueron consideradas dentro de un «grupo especial» por Pilsbry (1953), con base en ciertos caracteres de la concha.

Holospira vive en hábitats secos, usualmente en taludes expuestos con rocas calizas. Los hábitats de rocas calizas, en el noreste de Sonora, soportan vegetación del tipo Matorral Xerófilo Chihuahuense a altitudes de 1 150-1 300 metros. El caso de *Holospira minima* es interesante, ya que vive en pequeñas colinas de 300 a 350 metros de altitud con vegetación del tipo Planicies de Sonora de la subdivisión del Desierto Sonorense, cerca de Hermosillo en el centro del estado. Su concha es de color blanco y posee costillas axiales moderadamente grandes y atípicamente huecas, caracteres que pueden ser adaptaciones para sobrevivir durante el intenso calor de verano de su abierto y rocoso hábitat con vegetación baja.

Las descripciones de las primeras holospiras de Sonora [*H. remondi* (Gabb, 1865) y *H. minima* von Martens, 1897] se basaron en material de concha. Posteriormente, Pilsbry (1953) describió *H. cyclostoma* y *H. dentaxis* con material de conchas acarreadas río abajo por sistemas de ríos muy grandes como el Yaqui y por arroyos pequeños. Poco se sabe de las verdaderas localidades tipo, hábitats o la anatomía interna de esas especies. El estado taxonómico de otra especie (*H. kinonis*) proveniente de material de acarreo es incierto; su concha alta y delgada se parece a aquellas del género *Epirobia*. Estudios recientes de la anatomía de ejemplares vivos, recolectados a mano en localidades definidas, han producido nuevos datos significativos que resultaron en la descripción de *H. hoffmani* y *H. milleri* (Gilbertson, 1989 y 1993; Gilbertson y Naranjo-García, 1998 y 2004).

MOLUSCOS TROPICALES

Algunas especies de caracoles neotropicales forman parte de la fauna de Sonora y alcanzan su distribución más norteña en la porción sur del estado. Otras especies tienen un límite más hacia el norte y penetran en la Provincia Malacológica del Suroeste siguiendo los valles de los tributarios norteños del río Yaqui, en el noreste del estado, que se internan en una especie de cuña en el sistema. Los géneros de moluscos tropicales en Sonora comprenden a *Euglandina*, *Helicina*, *Karolus*, *Lamellaxis*, *Polygyra* y *Pseudosubulina* (Naranjo-García, 1991 y este capítulo; véase apéndice en disco compacto).

El límite sur de la Provincia Malacológica del Suroeste fue definido por Bequaert y Miller (1973) en el paralelo 28° de latitud N, inmediatamente al sur del límite austral del ámbito de distribución de *Sonorella*, muy cerca de la transición entre el Neotrópico y los biomas templados norteños en el este de Sonora. Los elementos malacológicos neotropicales no son bien conocidos y requieren de mayor atención (al sur de Sonora y a lo largo de los ríos tropicales Mayo y Yaqui, así como de sus tributarios del norte en el sureste de Arizona y noroeste de Chihuahua). Algunos animales y plantas tropicales tienen su límite de distribución en el sur de Arizona en pastizales desérticos y en bosques de encino a 1 220-1 525 metros de altitud. Algunos ejemplos son la víbora *Oxybelis aeneus* (Van Dender *et al.*, 1994) y el colorín/chilicote, *Erythrina flabelliformis*. La explicación de ese efecto de cuña se debe a que las especies tropicales están limitadas en las altas elevaciones por las temperaturas de congelación y en las elevaciones bajas por la aridez. Los moluscos tropicales posiblemente muestren también ese patrón biogeográfico.

ESPECIES NO NATIVAS (INTRODUCIDAS) Y CONSERVACIÓN

El único caracol introducido que se conoce en Sonora es la especie del Mediterráneo *Rumina decollata*, la cual se ha observado en Álamos después

de una fuerte lluvia (CNMO 1386, 22 julio de 1995; Colección Nacional de Moluscos, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México). No hemos notado ningún impacto de este caracol omnívoro en poblaciones de otros caracoles o sobre la vegetación.

La perturbación de los hábitats naturales por los asentamientos humanos, la agricultura, la deforestación para convertir los bosques en pastizales, el ramoneo por el ganado, tienen un fuerte impacto en la mayoría de la vida silvestre, incluyendo a los moluscos. Ya que la mayor parte de las especies de moluscos terrestres americanos llevan una vida solitaria y sus puestas de huevos son pequeñas (Burch, 1962), su respuesta a cambios en los hábitats debido al represamiento de los ríos, introducción de plantas y otras acciones, es impredecible.

Van Devender *et al.* (en este vol.) registran 37 especies de plantas introducidas (cerca del quince por ciento de la flora) que son consideradas invasoras con potencial para dañar los hábitats naturales. De éstas, el zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) es la amenaza más seria para los hábitats de los caracoles terrestres de altitudes moderadas (350 a 1 350 metros). El zacate buffel es un pasto corpulento, nativo de regiones cálidas de África, India y Madagascar, que fue introducido en Sonora como forraje para ganado en la década de 1950 y donde se siembra con subsidios del gobierno, comúnmente después de haber removido la vegetación nativa (Búrquez y Martínez, 2006). El zacate buffel ha invadido el matorral xerófilo del centro, norte, centro-este y sur (matorral de piedemonte) del estado. En el centro de Sonora su presencia causa incendios forestales recurrentes que diezman a las especies nativas y convierte a la vegetación del desierto en vegetación de sabana. El zacate africano (*Eragrostis lehmanniana*) y el zacate rosado (*Melinis repens*) son invasores en el este y norte de Sonora, ya que impactan la composición de especies, aunque no esté asociado a la conversión a otro tipo de vegetación. El impacto de estos impresionantes cambios en las comunidades bióticas y sobre la fauna malacológica necesita ser evaluado.

CONCLUSIONES

Es claro que todavía no conocemos qué tan compleja y rica es la malacofauna de Sonora, pues, como se habrá dado cuenta el lector, son pocos los trabajos que existen sobre el grupo en el estado y los que existen han sido puntuales, así que es tema de investigación lo que falta por conocer. Una de las tareas es enfocar la atención en la investigación sobre los micromoluscos, pues son relativamente pocos los registros que poseemos sobre ese grupo (Bequaert y Miller, 1973; Branson *et al.*, 1964; Smith *et al.*, 1990) y hasta ahora el único trabajo dedicado a los micromoluscos de Sonora es el de Naranjo-García (1991). Walter B. Miller en varias ocasiones comentó a sus alumnos (R. Reeder, J. Hoffman, J. Deisler y E. Naranjo-García) que debido a las condiciones ambientales del Desierto Sonorense, el género *Sonorella* se ha especiado ampliamente, de manera que en una serranía es posible encontrar diferentes especies del género de un valle a otro. Esa afirmación nos da una ligera idea de cuánto falta por conocer sobre las especies de caracoles de talla grande (*Sonorella*, *Ashmunela*, *Holospira* y *Humboldtiana*) o donde se observa ese fenómeno, ausente en los micromoluscos. Lo extenso del estado y la diversidad de ambientes muy probablemente guardan sorpresas para futuras investigaciones; varias son las serranías que esperan la visita de malacólogos terrestres: Sierra Azul, Sierra Los Ajos, Sierra Buenos Aires, Sierra San José, Sierra Aconchi, por citar unos ejemplos.

Se requiere mucho trabajo de campo para (1) documentar y describir nuevas especies que pueden estar presentes en los diversos hábitats, en especial en géneros tan diversos como *Holospira* y *Sonorella*, (2) comprender mejor la distribución geográfica de las especies, (3) relacionar las distribuciones conocidas con las comunidades vegetales y parámetros climáticos, (4) determinar la localidad tipo, verdadera distribución y hábitat de los taxones descritos con material acarreado por el agua de arroyos y ríos, (5) proveer material para estudios de anatomía interna, desconocida en varios taxones, y para análisis moleculares a fin de ayudar a enten-

der las relaciones filogenéticas entre las especies sonorenses y sus parientes en otras regiones del suroeste de Estados Unidos y de México y (6) comparar la malacofauna actual con la fósil a través del tiempo, estudiando los cambios climáticos que han acontecido los últimos cien mil años.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a George M. Ferguson (Universidad de Arizona) por el envío de ejemplares a la Colección Nacional de Moluscos y de nuevos registros de *Euglandina* y *Humboldtiana* de Sonora, así como a Guichuan Hou, del laboratorio de microscopía «William y Ruth Dewel» de la Appalachian State University, por su ayuda en la preparación de las microfotografías. A Fernando Chiang Cabrera y a María Teresa Olivera Carrasco por la lectura crítica del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- BAILY, J.L. y R.I. BAILY. 1940. A New Urocoptid Mollusk from the State of Sonora, Mexico. *The Nautilus* 53: 94-95.
- BAKER, H.B. 1930. Mexican Mollusks Collected for Dr. Bryant Walker in 1926. University of Michigan. *Occasional Papers of the Museum of Zoology* 220: 1-46.
- BARTSCH, P. 1943. Notes on Mexican Urocoptid Mollusks. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 33: 54-59.
- BEQUAERT, J.C. y W.B. MILLER. 1973. *The Mollusks of the Arid Southwest, with an Arizona Check List*. University of Arizona Press, Tucson.
- BRANSON, B., C. MCCOY y M. SISK. 1964. Notes on Sonoran Gastropods. *Southwestern Naturalist* 9: 103-104.
- BURCH, J.B. 1962. *How to Know the Eastern Land Snails*. William C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- BÚRQUEZ, A., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR, R.S. FELGER y D. YETMAN. 1999. Vegetation and Habitat Diversity at the Southern Edge of the Sonoran Desert. En: R.H. Robichaux, ed., *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. University of Arizona Press, Tucson, pp 36-67.
- BÚRQUEZ, A. y A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 2004. Límites geográficos entre las Selvas Bajas Caducifolias y los Matorrales Espinosos y Xerófilos: ¿Qué Conservar? En: G. Ceballos y J.E. Bezaury, eds. *Identificación de amenazas y prioridades para conservación en las selvas secas del Pacífico Mexicano*. WWF-Conabio.
- BÚRQUEZ, A. y A. MARTÍNEZ-YRÍZAR. 2006. Conservation and Landscape Transformation in North-Western Mexico. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry Borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Salt Lake City.
- FISCHER, P. y H. CROSSE. 1873. *Mission scientifique au Mexique et dans l'Amérique Centrale. 7me Partie. Etudes sur les Mollusques Terrestres et Fluviatiles du Mexique et du Guatemala*. Paris, Recherches Zoologiques, vol.1, partes 3-4, pp. 305-464.
- GABB, W.M. 1865. Descriptions of Three New Species of Mexican Land Shells. *American Journal of Conchology* 1: 208-209.
- GILBERTSON, L.H. 1989. A New Species of *Holospira* (Gastropoda: Pulmonata) from Sonora, with the Reproductive Anatomy of *Holospira minima*. *The Veliger* 32: 91-94.
- GILBERTSON, L.H. 1993. Reproductive Anatomies of *Holospira* spp. (Gastropoda: Pulmonata: Urocoptidae) from Arizona and Sonora with a New Subgenus and a New Species. *American Malacological Bulletin* 10: 71-81.
- GILBERTSON, L.H. y E. NARANJO-GARCÍA. 1998. A New Subgenus and a New Species of *Holospira* (Gastropoda: Pulmonata: Urocoptidae) from Sonora, Mexico. *The Veliger* 41: 314-318.
- GILBERTSON, L.H. y E. NARANJO-GARCÍA. 2004. *Millerspira* a Replacement Name for *Millerella* Gilbertson and Naranjo-García. *The Veliger* 47: 157.
- HOFFMAN, J.E. 1987a. A New Species of *Rabdotus* (Gastropoda: Pulmonata: Bulimulidae) from Sonora, with a Description of the Reproductive Anatomy of *Rabdotus nigromontanus*. *The Veliger* 29: 419-423.
- HOFFMAN, J.E. 1987b. A New Species of *Drymaeus* (Gastropoda: Pulmonata: Bulimulidae) from Sonora and Sinaloa, Mexico. *The Veliger* 29: 424-427.
- HOFFMAN, J.E. 1988a. Synonymy of *Rabdotus sonorensis* (Pilsbry, 1928) with *Rabdotus nigromontanus* (Dall, 1897) (Gastropoda: Pulmonata: Bulimulidae) *The Veliger* 30: 96-97.
- HOFFMAN, J.E. 1988b. Assignment to Genus *Naesiotus* (Albers, 1850) of Several Species Formerly Assigned to *Rabdotus* (Albers, 1850) (Gastropoda: Pul-

- monata: Bulimulidae) *The Veliger* 30: 417-420.
- MEAD, J.I. 1991. Late Pleistocene and Holocene Molluscan Faunas and Environmental Changes in Southeastern Arizona. En: J.R. Purdue, W.E. Klippel y B.W. Styles, eds. *Beamers, Bobwhites, and Bluepoints: Tributes to the Career of Paul W. Parmalee*. Illinois State Museum Scientific, Papers 23, Springfield, Illinois, pp. 215-226.
- MEAD, J.I., A. BAEZ, S.L. SWIFT, M.C. CARPENTER, M. HOLLENSHEAD, N.J. CZAPLEWSKI, D.W. STEADMAN, J. BRIGHT y J. ARROYO-CABRALES. 2006. Tropical Marsh and Savanna Environment During the Late Pleistocene in Northeastern Sonora, Mexico. *Southwestern Naturalist* 51: 226-239.
- MEAD, J.I., S.L. SWIFT, R.S. WHITE, H.G. McDONALD y A. BAEZ. 2007. Late Pleistocene (Rancholabrean) Glyptodont and Pampathere (Xenarthra, Cingulata) from Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24: 439-449.
- MEJÍA-GUERRERO, H.O. 2005. *Taxonomía y biogeografía del género Humboldtiana (Pulmonata: Humboldtianidae)* Tesis de doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Sección Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional, México.
- MEJÍA-GUERRERO, H.O., E. NARANJO-GARCÍA y O.J. POLACO. 2009. Three New Species of *Humboldtiana* (Pulmonata: Humboldtianidae) from Mexico. *The Nautilus* 123: 313-316.
- MILLER, W.B. 1967a. Two New *Sonorella* from Sonora, Mexico. *The Nautilus* 80: 114-119.
- MILLER, W.B. 1967b. Two New *Sonorella* from Sonora, Mexico, and Notes on Southern Limit of the Genus. *The Nautilus* 81: 1-6.
- MILLER, W.B. y E. NARANJO-GARCÍA. 1991. Familial Relationships and Biogeography of the Western American and Caribbean Helicoidea (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata). *American Malacological Bulletin* 8: 147-153.
- NARANJO-GARCÍA, E. 1988a. *Sonorella cananea*, a New species of Land Snail (Gastropoda: Pulmonata: Helminthoglyptidae) from Sonora, Mexico. *Southwestern Naturalist* 33: 81-84.
- NARANJO-GARCÍA, E. 1988b. Four New *Sonorella* (Gastropoda: Pulmonata: Helminthoglyptidae) from Northwestern Sonora, Mexico. *The Veliger* 31: 80-86.
- NARANJO-GARCÍA, E. 1989. Four Additional Species of *Sonorella* (Gastropoda: Pulmonata: Helminthoglyptidae) from Sonora, Mexico. *The Veliger* 32: 84-90.
- NARANJO-GARCÍA, E. 1991. Present Status of the micromollusks of Northern Sonora, Mexico. *American Malacological Bulletin* 8: 165-171.
- NARANJO-GARCÍA, E. 1993. The Land Snails of the Western Coast of Mexico. The Annual Report, *The Western Society of Malacologists* 26: 8-11.
- NARANJO-GARCÍA, E. 2003. Moluscos continentales de México: terrestres. *Revista de Biología Tropical* 51 (suplemento 3): 483-493.
- NARANJO-GARCÍA, E. y W.B. MILLER. 1986. A New Species of *Sonorella* (Gastropoda: Pulmonata: Helminthoglyptidae) from Sonora, Mexico. *The Veliger* 29: 166-168.
- PILSBRY, H.A. 1939. *Land Mollusca of North America (North of Mexico)* Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia, Pennsylvania, monografía 3, vol. I, parte 1.
- PILSBRY, H.A. 1940. *Land Mollusca of North America (North of Mexico)* Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia, Pennsylvania, monografía 3, vol. I, parte 2.
- PILSBRY, H.A. 1946. *Land Mollusca of North America (North of Mexico)* Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia, Pennsylvania, monografía 3, vol. II, parte 1.
- PILSBRY, H.A. 1948a. *Land Mollusca of North America (North of Mexico)* Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia, Pennsylvania, monografía 3, vol. II, parte 2.
- PILSBRY, H.A. 1948b. Inland Mollusks of Northern Mexico I. The genera *Humboldtiana*, *Sonorella*, *Oreohelix* and *Ashmunella*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 100: 185-203.
- PILSBRY, H.A. 1953. Inland Mollusks of Northern Mexico II. Urocoptidae, Pupillidae, Strobilopsidae, Valonidae and Cionellidae. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 105: 133-167.
- PILSBRY, H.A. 1956. Inland Mollusks of Northern Mexico. III. Polygyridae and Potadominae. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 108: 19-40.
- REEDER, R.L. 1993. A New *Ashmunella* (Gastropoda: Pulmonata: Polygyridae) from Sonora, Mexico. *The Veliger* 36: 69-71.
- SCHILEYKO, A.A. 1991. Taxonomic Status, Phylogenetic Relations and System of Helicoidea Sensu Lato. *Archiv für Molluskenkunde* 120 (4/6): 187-236.
- SMITH, A.G., W.B. MILLER, C.C. CHRISTENSEN y B. ROTH. 1990. Land Mollusca of Baja California,

- Mexico. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 47: 95-158.
- THOMPSON, F.G. 2008. An Annotated Checklist and Bibliography of the Land and Freshwater Snails of Mexico and Central America. http://www.flmnh.ufl.edu/malacology/mexico-central_america_snail_checklist/
- VAN DEVENDER, T.R., C.H. LOWE y H.E. LAWLER. 1994. Factors Influencing the Distribution of the Neotropical Vine Snake *Oxybelis aeneus* in Arizona and Sonora, Mexico. *Herpetological Natural History* 2: 27-44.
- VAUGHT, K.C. 1989. *A Classification of the Living Mollusca*. American Malacologists, Melbourne, Florida.
- VON MARTENS, E. 1890-1901. *Biología Centrali Americana*. Terrestrial and Fluvatile Mollusca. Londres.
- WADE, C.M., P.B. MORDAN y F. NAGGS. 2006. Evolutionary Relationships among the Pulmonate Land Snails and Slugs (Pulmonata, Stylommatophora). *Biological Journal of the Linnean Society* 87: 593-610.

ARTRÓPODOS TERRESTRES NO-HEXÁPODOS

SERGIO J. CASTREZANA¹

RESUMEN. Existen más de un millón de especies de Artrópodos descritas en el mundo y sólo 35% no pertenecen a la superclase Hexápoda. El conocimiento de las más de veintitrés mil especies del Phylum Arthropoda en México varía de manera considerable de acuerdo a la entidad federativa y al grupo taxonómico. De Sonora se conocen 387 especies de artrópodos terrestres no-Hexápodos de las clases Chilopoda (3), Diplopoda (5), Acárida (160) y Arachnida, esta última con presencia de los órdenes Araneae (166), Scorpiones (28), Pseudoscorpiones (13), Solifugae (9), Opiliones (2) y Amblypygi (1). A pesar de que se registran 54 especies endémicas para Sonora, se desconoce casi por completo la fauna de artrópodos no-hexápodos en las zonas este y sur del estado.

ABSTRACT. World arthropod fauna has more than one million of described species. However, only less than 35% of these species are no included in the superclass Hexapoda. In Mexico, a country with a megabiodiversity, arthropod fauna has approximately twenty three thousand described species. However, Mexican arthropod fauna knowledge is strongly biased by states and taxonomic groups. This is the case of the state of Sonora in northwestern México, where Non-hexapoda arthropod fauna has only 387 species recorded in the following taxonomic groups: Arachnida-Araneae (166), Acarida (160), Scorpiones (28), Pseudoscorpionida (13), Solifugae (9), Diplopoda (5), Chilopoda (3), Opiliones (2), y Amblypygi (1). Excluding data from Araneae order, Sonora has 54 endemic Non-Hexapoda arthropod species. There are no records of this type of arthropod fauna from East and South areas in the state.

INTRODUCCIÓN

Los artrópodos son el phylum de invertebrados con

mayor éxito evolutivo en la actualidad. De hecho, el total de artrópodos sobrepasa el número de especies de otros phyla en el reino animal (Manton, 1977). Hasta hace una década, existían aproximadamente 1 025 000 especies de artrópodos descritas (Hammond, 1992). Aunque los primeros artrópodos aparecen probablemente hace seiscientos millones de años durante el Paleozoico temprano, no es hasta la diversificación de las angiospermas en el Cenozoico que la cantidad de artrópodos tiene un incremento notable debido a las estrechas interacciones que surgen entre plantas y éstos (Mitter *et al.*, 1991). En 1845, después de varios cambios de nombre (como Articulata entre otros), Siebold y Stannius describen formalmente al phylum Arthropoda. Las características más importantes de este phylum son la presencia de una cutícula quitonosa con mudas periódicas, agallas respiratorias, músculos longitudinales segmentados unidos a tendones íntersegmentales, músculos somáticos y extrínsecos en las patas primitivamente conectados a tendones íntersegmentales, palpo acronal que forma la anténula, y ojos compuestos. Aunque otros phyla poseen cuerpos cubiertos por una cutícula, en los artrópodos la cutícula en general forma una gruesa armadura externa y hasta cierto punto flexible, con funciones de esqueleto externo (Manton, 1977; Boudreaux, 1979). Actualmente es posible encontrar artrópodos en cualquier ecosistema, incluyendo las frías y oscuras aguas de las profundidades oceánicas. En cuanto a su tamaño, existen artrópodos tan pequeños como los ácaros, de apenas una fracción de milímetro, hasta el gigantesco cangrejo *Macrocheira*, con una longitud de 3.5 metros (Meglitsch y Schram, 1991).

¹ University of California.

La filogenia de los artrópodos es un tema de debate intenso. En la primera mitad del siglo pasado no existía ninguna duda de que el phylum Arthropoda era monofilético (hipótesis monofilética). Sin embargo, nuevas hipótesis han ido surgiendo con el avance del conocimiento científico. En el año de 1958, después de una extensiva revisión taxonómica, Tieggs y Manton sugieren que los artrópodos no parecen haberse originado de un único grupo primitivo y mucho menos de un ancestro parecido a un anélido (hipótesis polifilética). Por otro lado, muchos zoólogos aún defienden la hipótesis original propuesta a principios de 1800 de un clado único, Uni-ramia, que agrupa a los artrópodos, anélidos, tardígrados y onicóforos (Nielsen *et al.*, 1996; Brusca y Brusca, 2003). Actualmente cada vez son más los zoólogos especializados en grupos taxonómicos dentro del phylum Arthropoda que los clasifican de acuerdo a hipótesis basadas en técnicas cada vez más sofisticadas (Schram y Hof, 1998; Waltet y Proctor, 1998; Wheeler *et al.*, 2001).

El phylum Arthropoda contiene aproximadamente 65% de las especies animales actualmente descritas (Kim, 1993). Sin embargo, la superclase Hexapoda representa más de 93% de los Arthropoda (Hammond, 1992). Esto quiere decir que existen aproximadamente setenta y cinco mil especies de artrópodos no-hexápodos en el mundo, llamense arácnidos, decápodos, milípedos y dípteros. En México, un país con diez por ciento de la diversidad terrestre y por lo cual es considerado como el tercer lugar en megadiversidad mundial (Wilson, 1992), la información para el phylum Arthropoda se encuentra fragmentada. Si bien es cierto que la riqueza de los artrópodos mexicanos es enorme y se encuentra documentada desde principios del siglo pasado, la mayor parte de la información actual es escasa, dispersa y, en general, de carácter entomológico: de las 23 044 especies mexicanas conocidas de artrópodos, 11% son arácnidos y 6% decápodos. Sin embargo, se estima que nuestro país alberga aproximadamente trescientas mil especies de artrópodos (Llorente *et al.*, 1996). Esta falta de información en México sobre la fau-

na del phylum Arthropoda obedece, sin duda, a la carencia de recursos económicos para el conocimiento de su biodiversidad y a una notoria falta de taxónomos profesionales, no sólo en el ámbito entomológico, sino también para el estudio de otros grupos de artrópodos.

En este capítulo se presenta un resumen de nuestro conocimiento sobre la biología de las formas terrestres del phylum Arthropoda, excluyendo a la superclase Hexapoda, que habitan el estado de Sonora, Mexico: dípteros, milípedos y aracnomorfos, pues si bien a escala nacional existe una marcada falta de información de la fauna en el phylum Arthropoda, la situación en el ámbito estatal es todavía más grave. En el estado de Sonora no existe un trabajo taxonómico de dimensiones considerables para estas clases de artrópodos. En la actualidad, investigadores principalmente de Estados Unidos de Norteamérica realizan trabajos taxonómicos esporádicos, en la mayoría de las ocasiones en la región fronteriza. Aunado a esta falta de investigadores locales, el conocimiento de los artrópodos terrestres no-hexápodos se concentra en la región desértica de Sonora, la cual comprende más de cincuenta por ciento de la superficie del Estado, posee temperaturas anuales promedio superiores a los 18°C y sustenta matorrales xerófilos. En contraste, nuestro conocimiento sobre los artrópodos no hexápodos en la zona sureste y este del estado, que sustentan vegetación de selva baja caducifolia y bosques de pino-encino, respectivamente (García, 1996), es aún muy pobre. A continuación se da una breve síntesis biológica de estas clases de artrópodos, así como una lista de las especies con registros en el estado de Sonora.

CLASE CHILOPODA

Los quilópodos son conocidos con el nombre común de ciempiés y cientopíes en Sonora. Esta clase de artrópodos posee un cuerpo alargado y aplanado dorsoventralmente. Sin embargo, la característica anatómica principal de esta clase es la división del cuerpo en segmentos, los cuales varían de 15

hasta 173 de acuerdo a la edad y especie, con un par de patas articuladas en cada uno de éstos. La cabeza posee un par de antenas y unas fuertes mandíbulas, mientras que el primer segmento del tronco lleva un par de apéndices modificados llamados forcípulas (también conocidos como maxilípedos o garras venenosas), en los cuales desembocan glándulas venenosas, que son usados lo mismo en la defensa que en la captura de las presas (Cloudsley-Thompson, 1968). Los quilópodos son identificados ampliamente como agresivos depredadores, de mordedura dolorosa y picadura molesta, pero no mortal cuando éstas ocurren en humanos.

En la reproducción de los quilópodos, los machos depositan un espermatóforo, con o sin cortejo dependiendo de la especie, el cual es almacenado por las hembras. La oviposición ocurre principalmente en primavera-verano y los juveniles van adquiriendo segmentos a medida que van mudando, aunque en la mayoría de las especies se desconoce por completo el ciclo reproductivo. Se sabe de algunas especies de quilópodos que pueden vivir hasta seis años y que alcanzan la madurez sexual a los tres años (Campbell, 1996).

Existen alrededor de 2 780 especies de quilópodos en el mundo, clasificados en cinco órdenes y 21 familias, de las cuales Eriphantidae y Neogeophilidae son endémicas a nuestro país (Lewis, 1981). En cuanto a su tamaño, la especie más grande que se conoce en base a reportes publicados, es el ciempiés gigante del Amazonas, *Scolopendra gigantea*, con treinta centímetros (Cloudsley-Thompson, 1968). Sin embargo, se han capturado ejemplares de la única especie de ciempiés registrada en el estado de Sonora, *Scolopendra heros arizonensis*, de hasta 38 centímetros en las zonas de Guaymas y el Cañon del Nacapule. Además, se han observado a estos individuos soportar más de diez meses sin alimento (Sergio Castrezana, datos sin publ.). Por otro lado, en la parte noreste del estado se han capturado ejemplares de la subespecie *Scolopendra heros heros* y en la ciudad de Hermosillo varios ejemplares del género *Scutigera* (posiblemente *coleoprata*) y de una pequeña especie sin identificación positiva (Sergio Castrezana, datos sin publ.).

CLASE DIPLOPODA

Estos artrópodos terrestres son conocidos comúnmente como milpiés en Sonora, aunque en ocasiones se les conoce como gusanotes, trenecitos o quemadores. Los diplópodos tienen un cuerpo alargado y cilíndrico, pero su característica principal es la presencia de dos pares de patas en cada uno de sus segmentos (con excepción del primer segmento después de la cabeza). Esto se debe a que en los milpiés se da una fusión de los terguitos y pleuritos de dos segmentos para formar uno (diplosegmentos). A diferencia de los quilópodos, las patas de los diplópodos son más cortas en relación con el ancho del cuerpo. Esto permite a los diplópodos presentar un característico movimiento lento, pero de mucho poder, necesario para animales que pasan la vida sobre y bajo el suelo degradando la materia vegetal. La cabeza de los milpiés posee un par de antenas con ocho segmentos o antenómeros. En general, y dependiendo del taxón, el último antenómero posee cuatro conos sensoriales. Los milpies sólo poseen dos pares de partes bucales: las mandíbulas y el primer maxilar (Hopkin y Read, 1992).

El esperma de los diplópodos no posee flagelo. De hecho, las formas del esperma proveen evidencia útil para la clasificación de estos artrópodos. Los machos producen un espermatóforo, el cual, dependiendo del taxón, es ofrecido a las hembras en una pequeña red de seda o se transfiere de forma directa a la apertura genital femenina por medio de unos complejos órganos sexuales secundarios llamados gonópodos. Es común que en algunas especies de diplópodos, poblaciones enteras cuenten únicamente con uno por ciento de individuos machos (spanandría). Por lo tanto, aparte de la reproducción sexual, en muchas especies de milpiés se ha registrado la thelytokía, hembras vírgenes procreando hembras, como un modo común de partenogénesis en esta clase (Rantala, 1974; Hopkin y Read, 1992).

El exoesqueleto de los diplópodos ofrece una protección cuando se enrollan y, en algunos casos, forman una esfera cerrada (Candia-Carnevali y Valvassori, 1982). Sin embargo, la mayoría de los milpiés presentan un par de glándulas defensivas late-

rales por segmento que, de acuerdo a la especie, pueden producir químicos sedantes (quinazolinas), irritantes (polizoniminas) o venenosos (cianuros) que pueden ser rociados en algunos casos a distancias considerables (Hopkin y Read, 1992). En humanos no existen reportes de muerte por los químicos producidos por los diplópodos, aunque si producen una considerable irritación en piel o ceguera si éstos llegan a los ojos (Smith, 1973). Se han realizado muchos experimentos para probar la efectividad de las secreciones defensivas de los diplópodos en diversos depredadores (Smolanoff *et al.*, 1975; Corner *et al.*, 1977; Carrel y Eisner, 1984). Sin embargo, no existe duda que algunos invertebrados se alimentan activamente de los milpiés, sin encontrar repelentes del todo estas secreciones defensivas (Hopkin y Read, 1992).

La clase Diplopoda posee más de doce mil especies descritas en el mundo. Estas se encuentran organizadas en tres subclases, con 15 órdenes y 144 familias (Shelley, 2003). En México, los diplópodos se encuentran representados con 14 órdenes, 39 familias y 117 géneros con un total de 498 especies (Bueno-Villegas *et al.*, 2004). En la tabla 1 se presenta la clasificación de los diplópodos en el estado de Sonora, en donde solamente existen cinco especies registradas en tres órdenes y, al igual que en los quilópodos, los registros se encuentran limitados a la porción costera del Desierto Sonorense (Chamberlin, R.V. 1923; Hoffman, 1954; Shelley, 1966). De estas especies, *Orthoporus nesiotus*, *Siphonacme pseustes* y *Colactis quadrata* aparentemente son endémicas para el estado de Sonora.

CLASE ARACHNIDA

La característica principal de los arácnidos es la división del cuerpo en un prosoma y un opistosoma. El prosoma, también llamado cefalotórax, compuesto por la unión de la región cefálica y una región torácica, está formado por seis segmentos; cada uno de éstos posee un par de apéndices, los quelíceros y pedipalpos y cuatro pares de patas dependiendo del segmento al que se inserten. El prosoma en ge-

neral está dorsalmente protegido por un caparazón, el cual es la fusión de las placas dorsales o tergitas. Ventralmente, la forma y posición de los esternitas muestran una considerable variación de acuerdo a los diferentes órdenes. Por otro lado, la parte posterior del cuerpo, llamado opistosoma o abdomen, posee un máximo de 13 segmentos. El primer segmento opistosomático sólo está presente en el estado embrionario. El resto de los segmentos se encuentra dividido en dos regiones: el mesosoma, con un máximo de siete segmentos, y el metasoma, con hasta cinco segmentos (Snow, 1970; Savory, 1977; Hammen, 1989).

Los arácnidos en general tienen seis pares de apéndices prosomáticos. El primer par (preoral), llamado quelíceros, está formado por dos o tres segmentos o artejos. Cuando existen tres artejos, el tercero distal se encuentra en oposición con el segundo para formar un órgano quelado que utilizan para sujetar a sus presas. El tamaño y función de los quelíceros varía dependiendo de los diferentes órdenes de arácnidos. Por otra parte, el primer artejo de los pedipalpos, llamado coxa, generalmente tiene extensiones (maxilas), las cuales funcionan como partes bucales. Los siguientes artejos de los pedipalpos pueden formar quelas poderosas como en los escorpiones y pseudoescorpiones, poseer órganos táctiles como en las arañas o terminar en succionadores como en los solífugos. Los pedipalpos no poseen metatarso. Existe mucha variación en cuanto a la morfología externa, forma y función de las patas de acuerdo a los diferentes órdenes de la clase arácnida. Sin embargo, en general, las patas, que son cuatro pares, están formadas por siete segmentos que son la coxa, trocanter, femur, patela, tibia, metatarso y tarso. En algunos órdenes como los ambliopígididos, el primer par de patas se encuentran modificadas como órganos táctiles. Las patas y los pedipalpos por regla general terminan con uñas. A excepción de los escorpiones, que poseen peines sensoriales, y las arañas con apéndices modificados para secretar la seda llamados hileras, el opistosoma de los arácnidos no presenta apéndices por lo menos durante la etapa adulta (Snow, 1970; Savory, 1977; Hammen, 1989).

Los órganos sensoriales de los arácnidos varían dependiendo de los órdenes. En general, los arácnidos poseen de dos a doce ojos u ocelos simples, sésiles y al nivel de superficie cefalotorácica. También los arácnidos presentan sedas táctiles en hileras insertadas en las patas, las cuales son huecas y eréctiles, de color negro, con una comunicación nerviosa directa, que algunas veces son usadas durante el cortejo. Otros pelos sensoriales son las setas, más delgadas que las sedas táctiles, que se encuentran en grupos y no son eréctiles. Otros pelos sensoriales son las tricobotrias, extremadamente delgadas y sonotácticos, más o menos eréctiles, que generalmente se encuentran entre las setas. Los órganos sensoriales liriformes, que parecen pequeñas hendiduras, son otras estructuras mecanoreceptoras; pueden existir hasta tres mil de éstos en un arácnido. También los arácnidos pueden presentar órganos tarsales cuya función es quimiorreceptora (Snow, 1970; Barth y Seyfarth, 1972; Savory, 1977; Hammen, 1989).

El número de mudas que los arácnidos sufren a través de su vida varía dependiendo de los órdenes, especies y tamaño de los individuos. Sin embargo, el aspecto más importante de las mudas es la regeneración de las partes perdidas que se forman por debajo del exoesqueleto y que están listas cuando ocurre la nueva muda. El período de vida, el cortejo, la reproducción, la presencia de glándulas productoras de veneno, de glándulas productoras de seda y otras funciones más, indiscutiblemente varían entre los diferentes órdenes de arácnidos (Snow, 1970; Savory, 1977; Hammen, 1989).

En la tabla 2 se presenta la clasificación de la Clase Arachnida. Cabe destacar que la clasificación en esta clase es compleja, varía casi indiscutiblemente dependiendo del autor y el método utilizados y, por lo tanto, es un tema de amplio debate dentro de las sociedades aracnológicas. En el presente capítulo se muestra la clasificación taxonómica basada en 17 órdenes propuesta por Savory (1977). A pesar de la gran biodiversidad de la Clase Arachnida registrada en México, en el estado de Sonora no existen registros de especies en los órdenes Uropygi (Thelyphonida), Schizomida, Pal-

pigradi y Ricinulei (Vázquez, 1996a, 1996b, 1996c y 1996e). A continuación se presenta una síntesis de la biología y un listado de las especies pertenecientes a los seis órdenes de arácnidos que existen en el estado de Sonora. Se desconoce la situación actual de los restantes órdenes de arácnidos en Sonora. En el presente capítulo, el autor reconoce que las características morfológicas presentes en los ácaros son irrefutables para considerarlos como una clase externa a la clase Arachnida, aunque muchos científicos aún debaten sobre la filogenia de los grupos aracnomorfos.

ORDEN SCORPIONES

Estos arácnidos son conocidos con los nombres comunes de alacranes (negro, güero, café), duranguenses y escorpiones. Los escorpiones son quizás los arácnidos más grandes, ya que algunas especies alcanzan casi los veinte centímetros en tamaño. Los quelíceros de los escorpiones poseen tres articulaciones y se encuentran localizados a un lado de la boca. Su cuerpo se encuentra claramente dividido en un ancho prosoma y un delgado opistosoma y son fluorescentes ante la presencia de luz ultravioleta (Campbell, 1996). El prosoma de los escorpiones no es dorsalmente segmentado y alberga un par de ojos medianos y de tres a cinco pares de ojos laterales. Por la parte ventral, el prosoma está formado por una pequeña placa esternal y las coxas expandidas de los cuatro pares de patas. Los largos pedipalpos están compuestos de seis segmentos, o artejos, en donde los dos últimos forman una poderosa pinza. Los pedipalpos, además, están equipados con innumerables tricobotrias que utilizan principalmente para detectar la posición de las presas. Las coxas de los pedipalpos forman las paredes del canal preoral (Snow, 1970; Hammen, 1989).

El opistosoma es una característica distintiva de los escorpiones y se divide en dos: la parte anterior es el mesosoma y la parte posterior el metasoma. El mesosoma está formado por siete segmentos cubiertos dorsalmente por una placa tergal, mientras que ventralmente sólo son visibles seis estergi-

tas. En el primer segmento mesosomal se encuentra la apertura genital con un tejido dividido que cubre al gonoporo. En el segundo segmento mesosomal los escorpiones presentan un par de estructuras llamadas peines (o también peines pectinales), cuya función es aparentemente sensorial. El metasoma de los escorpiones, erróneamente llamado cola, se encuentra formado hasta de cinco segmentos cilíndricos. La apertura anal se encuentra localizada ventralmente en la parte posterior del último segmento. El telson de los escorpiones se encuentra articulado al último segmento metasomal, es puntiagudo y posee una glándula productora de veneno. Los escorpiones son depredadores nocturnos de insectos, otros arácnidos y en algunas ocasiones hasta de mamíferos pequeños. El veneno de los escorpiones es neurotóxico y en general está optimizado para atrapar artrópodos. Por lo tanto, la mayoría de las especies son relativamente inofensivas a los humanos, en quienes produce solamente efectos locales. Sin embargo, algunas especies, principalmente de la familia Buthidae, resultan mortales para los hombres (Stahnke, 1938; Cloudsley-Thompson, 1955; Snow, 1970).

La reproducción de los escorpiones implica un complejo y largo ritual precopulatorio (hasta ocho horas) con un activo uso de los pedipalpos. Los machos sujetan a las hembras de sus pedipalpos y elaboran una compleja danza nupcial con diferentes tipos de movimientos circulares que varían dependiendo de las especies. De hecho, algunas especies utilizan el metasoma y el telson como parte de este complejo ritual de apareamiento. Después del cortejo, el macho deposita un espermátforo quitinoso con ganchos en el suelo y guía a la hembra sobre éste. Una vez introducido el espermátforo en la apertura genital, se da la fertilización de los huevos. Los escorpiones pueden ser ovovivíparos o vivíparos dependiendo de la especie. Después del nacimiento, los pequeños escorpiones trepan a la espalda de la madre en donde permanecerán hasta que ocurra la primera muda. Durante este tiempo son protegidos por su madre pero no reciben alimento alguno (Hadley y Williams, 1968; Snow, 1970; Savory, 1977). En algunas especies de escorpiones

se ha observado partenogénesis (Lourenço, 2000).

En México existen 179 especies de escorpiones distribuidas en siete familias, de las cuales 28 (en cinco familias) se han registrado para el estado de Sonora (tabla 3). Seis de estas especies, *Diplocentrus williamsi*, *Serradigitus polisi*, *S. yaqui*, *Vaejovis mauryi*, *V. pequeno* y *V. sonora*, aparentemente son endémicas (Hoffmann, 1931b; Due y Polis, 1986; Lourenço y Sissom, 2000; Capes, 2001; Hendrixson, 2001; Sissom y Hendrixson, 2005).

ORDEN AMBLYPYGI

En el estado de Sonora, a este orden de arácnidos se les conoce con los nombres comunes de tarantulilla, vinagreta, vinagrón y vinagrillo. Esto puede causar confusión, ya que a los arácnidos del orden Uropygi en los estados al sur de México también se les conoce con el nombre de vinagrillos. Sin embargo, cabe recordar que no existen registros de especies de uropígidos en el estado de Sonora (Vázquez, 1996c). Los ambliopígidos, de cuerpo ancho y aplanado dorsoventralmente, poseen un par de órganos sensoriales largos que son una modificación del primer par de patas caminadoras en otros arácnidos. Estos órganos sensoriales pueden llegar a medir varias veces el largo de su cuerpo y son utilizados tanto en la ubicación (medio ambiente, presas potenciales), como en el comportamiento reproductivo (ubicación de pareja, cortejo). Estos arácnidos también se caracterizan por la falta de glándulas para producir seda y veneno (Savory, 1977; Quintero, 1982; Hammen, 1989).

En el cortejo de los ambliopígidos, el macho utiliza sus pedipalpos para guiar a la hembra hasta el espermátforo. Después, la hembra coloca en un saco por debajo del abdomen los huevos fertilizados. Cuando los huevos eclosionan, las crías trepan a la espalda de la madre. Éste es un momento crítico, ya que si las crías caen de la espalda de la madre antes de completar la primera muda, es devorado por ella (Savory, 1977; Hammen, 1989).

Los ambliopígidos, cuyo tamaño va de cinco a cuarenta centímetros, son cazadores nocturnos que uti-

lizan sus prominentes pedipalpos para someter a sus presas. Su desplazamiento es lento y característico, siempre moviendo sus dos extremidades sensoriales como «limpiaparabrisas» cubriendo los 360° de su entorno. Los ambliopígididos se distribuyen en hábitats tropicales y semitropicales y se les encuentra generalmente en ambientes húmedos, escondidos debajo de troncos, piedras u hojas. En el mundo existen 136 especies agrupados en 17 géneros y cinco familias. En México se han registrado 14 especies de ambliopígididos pero sólo una especie no endémica de la familia Phrynidae, *Paraphrynus mexicanus*, ha sido registrada en el estado de Sonora (Vázquez, 1996d).

ORDEN ARANEAE

Después de los insectos, el orden Araneae es el grupo de artrópodos más diverso del mundo, con aproximadamente 40 462 especies distribuidas hasta ahora en 3 694 géneros y en 109 familias (Platnick, 2008). Esta gran diversidad se ve reflejada en los nombres comunes que reciben las especies pertenecientes al orden Araneae en el estado de Sonora, pues son muy variados y pueden cambiar de acuerdo a la región o familia de arañas. Por ejemplo, a las especies de la familia Theraphosidae se les conoce como tarántulas, tarantulones, pollitos, chifladoras, peludas y arañoses; a las de la familia Salticidae se les conoce como brincadoras, ojoncitas y capulinas; a las de la familia Araneidae como cangrejos, caparachos, trepadoras, picadoras, mordedoras y ponzoñosas; aunque en general, a casi todas las especies de este orden se les conoce simplemente como arañas.

La clasificación del orden Araneae es compleja y existen frecuentes redescriptiones de géneros y especies en este grupo. En cuanto a su anatomía, entre las características generales de las arañas están el poseer un cuerpo dividido en dos secciones, prosoma y opistosoma, las cuales se encuentran conectadas por un delgado pedicelo que es una reducción de la primera somita abdominal. El prosoma está cubierto dorsalmente por un caparazón

no segmentado que en general presenta una pequeña hendidura transversal llamada surco torácico que señala la división entre la zona torácica y cefálica. Los ojos de las arañas son simples ocelos en la parte anterior del caparazón y nunca son más de ocho. El opistosoma no está segmentado, los apéndices de su cuarta y quinta somita tienen la función de secretar seda y son llamadas hileras, el ano es terminal y no poseen telson. De acuerdo a su función, existen siete tipos de glándulas productoras de seda en el orden Araneae. A su vez, la seda puede tener diferentes funciones: para la creación de telarañas orbiculares, planas y en laberinto, refugios, sacos, cubiertas de ovisacos, telas de espera, hilos de seguridad y aerostáticos (Snow, 1970; Savory, 1977; Kaston, 1978; Ubick *et al.*, 2005).

En cuanto a los quelíceros, éstos están formados por dos segmentos, no son quelados y tienen un conducto para transportar veneno. Los pedipalpos de las arañas son táctiles, parecen patas, pero sólo tienen seis segmentos y en los machos el tarso pedipalpal se encuentra profundamente modificado como un órgano copulatorio de forma variada dependiendo de la especie y, por lo tanto, es una estructura con un enorme valor taxonómico. El fémur pedipalpal también puede ser modificado, mientras que las coxas presentan gnatobases o enditos. En las hembras el tarso palpal es simple y puede o no tener una uña. Los cuatro pares de patas en las especies del orden Araneae se insertan en la parte ventral del prosoma y están divididas en siete segmentos: coxa, trocanter, fémur, patela, tibia, metatarso y tarso; este último segmento puede tener dos o tres pares de uñas. Además, las patas se encuentran cubiertas por espinas, pelos y tricobotrias que cumplen funciones sensoriales y su disposición/número pueden ser específicos para cada especie. El orificio reproductor femenino puede estar cubierto por una placa esclerosada ventral llamada epiginio (Snow, 1970; Savory, 1977; Kaston, 1978; Hammen, 1989).

Pese a las más de cuarenta mil especies de arañas conocidas, la información mundial es aún escasa (Kaston, 1978; Jiménez, 1996). Tan sólo en América Latina se estima que las especies registra-

das únicamente representan veinte por ciento de las especies potenciales en el área (Coddington y Levi, 1991). En México, el extenso trabajo de Jiménez (1996) indica que existen registros para 2 506 especies de arañas agrupadas en 413 géneros pertenecientes a 62 familias. De acuerdo a Jiménez, sus resultados equivaldrían a que en México existen 7.23% de las especies del orden Araneae conocidas a escala mundial hasta hace diez años. Y es que en México sólo 0.4% de sus especies son cosmopolitas mientras que, al parecer, más de setenta por ciento de las arañas mexicanas son endémicas. De hecho, se especula que existen más de mil especies de arañas mexicanas aún desconocidas por la ciencia (Jiménez, 1996). Pese a estos números, México cuenta apenas con unas cuantas decenas de profesionales trabajando con este orden de artrópodos y no existe una sociedad aracnológica. Para el estado de Sonora, en la tabla 4 se presenta una lista modificada y aumentada de la información que la doctora Jiménez amablemente comparte con uno de los editores del presente libro. En esta tabla se muestran los registros de 165 especies del orden Araneae agrupadas en 98 géneros y 32 familias (Levi, 1956, 1959a y 1959b; Platnick, 1977; Dondale y Redner, 1983; Beatty y Berry, 1988; Richman, 1989; Jiménez, 1996; Bond y Opell, 1997; Masta, 2000; Sierwald, 2000; Vetter y Cokendolpher, 2000; Vetter, 2001; Binford y Wells, 2003; Richman y Vitter, 2004; Dondale *et al.*, 2005; Platnick y Ubick, 2005; Jiménez, 2006, com. pers.). Estos números seguramente están lejos del total de la diversidad aracnológica del estado, ya que en muestreos en el sur del Desierto Sonorense (2002-2004) se encontraron siete especies de arañas no mencionadas en la tabla 4, de las cuales tres especies están probablemente sin describir (Castrezana, datos sin publ.).

ORDEN OPILIONES

Patonas, patoncitas, arañas quebradizas, arañas gelatinosas, gelatinosas y macacos son algunos de los nombres comunes que reciben las especies de este

orden en el estado de Sonora. En general, el prosoma de los opilionidos se encuentra cubierto por un caparazón producto de la fusión de las tergitas. Los dos ojos de los opiliones, a diferencia de otros arácnidos, se encuentran situados sobre unos prominentes tubérculos llamados ocellarium y generalmente están adaptados para la visión nocturna (Curtis, 1969; Savory, 1977). Otra característica que es única de los opilionidos es la presencia de un par de glándulas odoríferas que producen un fluido defensivo cuando el animal es molestado (Edgar, 1963).

Las patas de los opiliones están formadas por siete segmentos, generalmente demasiados largos, en donde los tarsos presentan subsegmentaciones; éstos son muy flexibles y tienen uñas terminales. Las gnatobases están presentes en la coxa del primer par de apéndices. Los quelíceros tienen tres segmentos y son quelados. Los opiliones no poseen esternón (o está escondido), ni glándulas para producir veneno ni seda. En cuanto a la reproducción, como los gonoporos de las arañas patonas están en oposición, los machos introducen su pene protrusible en el gonoporo femenino para fertilizar los huevos. La hembra posee un largo ovipositor con el que deposita los huevos en pequeñas grietas. Los pequeños opiliones emergen semejantes a los adultos y adquieren madurez sexual después de que experimentan de ocho a diez mudas. En el orden Opiliones existen cuatro subórdenes: Lanitores, Cyphophthalmi, Dyspnoi y Eupnoi, con marcadas diferencias morfológicas (Snow, 1970; Savory, 1977; Pinto da Rocha *et al.*, 2007).

Existen mil seiscientas especies de opiliones en el mundo organizadas en doce familias. La opiliofauna mexicana está constituida por 227 especies reconocidas y 56 especies sin describir. Sin embargo, nuestro conocimiento sobre la fauna de las arañas patonas es muy pobre en el estado de Sonora, ya que los registros con que se cuenta representan únicamente 0.7% de las especies mexicanas. Las especies en la entidad pertenecen a la familia Sclerosomatidae, *Trachyrhinus marmortus* y *Eurybunus* n sp 1, esta última endémica al estado (Kury y Cokendolpher, 2000).

ORDEN PSEUDOSCORPIONIDA

Estos arácnidos son conocidos con el nombre común de pseudoescorpiones, escorpión libro o falso escorpión. En algunas partes del estado de Sonora también se los conoce con el nombre de garrapatitas y angelitos. Los pseudoescorpiones son arácnidos pequeños, de menos de un centímetro, con un característico abdomen en forma de gota o pera y una coloración amarilla clara hasta café oscuro. Su abdomen, u opistosoma, es semiaplanado dorsoventralmente y se encuentra formado por 12 segmentos. En cuanto a las extremidades, el número de segmentos en los que se dividen las patas sirven para distinguir familias y géneros. Sin embargo, la característica más notoria de estos microarácnidos es la presencia de un par de largos pedipalpos o quelas palpaes que semejan las pinzas presentes en los alacranes o escorpiones. Estas quelas están formadas por una sección fija y una móvil, o dedo, en donde usualmente se localiza una glándula de veneno utilizado para capturar a sus presas. Además, los pseudoescorpiones, como las arañas, son capaces de producir seda en los quelíceros. Ésta es utilizada en forma de capullo para diferentes actividades como cortejo, muda o aletargamiento invernal. Finalmente, dependiendo de la especie, los pseudoescorpiones pueden tener dos, cuatro o ningún ojo (Chamberlin, 1931; Weygoldt, 1969).

En cuanto a la reproducción, los pseudoescorpiones poseen una elaborada danza de cortejo. En algunas especies, los machos introducen un espermátforo en la apertura genital de la hembra. En otras, la conducen al lugar en donde depositaron el espermátforo antes de la danza de cortejo. Durante la época de reproducción es común observar a las hembras cargar en la parte dorsal del opistosoma un saco con huevos fertilizados o a las crías. Estos arácnidos sufren tres mudas antes de alcanzar la madurez sexual y en algunas especies la longevidad es de dos a tres años (Weygoldt, 1969).

Un comportamiento común en los pseudoescorpiones es la forma de transportarse a largas distancias (conocido como foresia). Por ejemplo, en el Desierto Sonorense, el pseudoescorpión *Dinochei-*

rus arizonensis se transporta de un cactus necrótico a otro afianzándose fuertemente a la coxa del escarabajo histérico *Hololepta yucateca* (Castrezana y Markow, 2001). En general, los pseudoescorpiones habitan lugares húmedos y la mayor riqueza de especies se encuentra en los trópicos y los subtrópicos, con un total 3 239 especies organizadas en 24 familias. Se sabe que estos arácnidos pueden habitar zonas frías y sobrevivir invernando en capullos de seda que ellos mismos construyen. En México se encuentran 151 especies agrupadas en 17 familias (Ceballos, 2004). En la tabla 5 se presenta la clasificación del orden Pseudoescorpiones para el estado de Sonora. Los registros de pseudoescorpiones en Sonora son exclusivos a la porción costera del Desierto Sonorense e islas del golfo de California (Chamberlin, 1921, 1923 y 1931; Castrezana y Markow, 2001; Ceballos, 2004). De las trece especies de siete familias registradas en Sonora, únicamente *Menthus gracilis* (Menthidae) es endémica. Existen otras dos especies de este orden por describir que forman parte de las comunidades necrofílicas de los cactus columnares del Desierto Sonorense (Castrezana y Markow, datos morfométricos y moleculares sin publ.).

ORDEN SOLIFUGAE

Los solífugos, conocidos en otros países con los nombres comunes de arañas camello, escorpiones de viento y arañas sol, son reconocidos como matavenados o matavacas en el estado de Sonora. Los largos quelíceros de los solífugos están compuestos de dos articulaciones (tres artejos) con un número variable de dientes que forman una poderosa pinza. Los solífugos, a diferencia de las arañas, no producen veneno en los quelíceros. Otra característica principal de los solífugos es la presencia de un par de largos pedipalpos que cumplen la función de órganos sensoriales y en cuyas extremidades distales poseen órganos adhesivos. Los pedipalpos confieren a los solífugos la errónea apariencia de poseer un par de patas extras (Muma, 1951; Hammen, 1989).

El temible nombre de «matavenados» es un mito que quizás se generó de forma errónea. Si bien su tamaño (hasta 12 centímetros en algunas especies), sus poderosas mandíbulas y su gran velocidad (hasta 16 km/hora) han intimidado al hombre, hasta el momento no se ha comprobado que alguna especie de estos arácnidos sea capaz de producir veneno para atrapar a sus presas. Sin embargo, existe la especulación de que por lo menos una especie de solífugos es capaz de producir veneno a través de glándulas epidermales en las quelas, aunque es incapaz de inyectarlo (Aruchami y Sandara-Rajulu, 1978). Entonces, las fiebres y dolorosas heridas provocadas por ataques de solífugos a personas o ganado provienen de las infecciones secundarias causadas por sus potentes mordidas y no a un veneno propio.

Al igual que otros miembros de la clase Arachnida, la reproducción en los solífugos puede ser por la transferencia directa o indirecta de esperma. Sin embargo, una característica única es el uso de los quelíceros: los machos solífugos los utilizan para introducir el espermátforo en la apertura genital femenina. Existen alrededor de novecientas especies de solífugos en el mundo divididas en 12 familias. En México están presentes 57 especies de estos arácnidos, de las cuales nueve se encuentran presentes en el estado de Sonora agrupadas en dos familias: Familia Eremobatidae con las especies *Eremorhax striatus*, *E. kraepelini*, *E. palpisetulosus*, *Eremothera sculpturata*, *E. drachmani*, *Eremochelis sonorai*, *E. imperialis*, *Hemerotrecha cazieri*, y la familia Ammotrechidae con un representante, *Branchia angustus*. Aparentemente, todas estas especies son endémicas al estado (Vázquez, 1996f).

CLASE ACÁRIDA

En el estado de Sonora algunos de los nombres comunes que reciben las especies de estos pequeños artrópodos son ácaros, güinas, garrapatas, agarra-patas y baiburines, aunque erróneamente también se les confunde con el nombre de otros grupos taxonómicos como las chinches. La taxonomía de los acá-

ridos es sumamente compleja. Algunos investigadores los incluyen como un orden de la clase Arachnida, mientras que otros los reconocen como una clase separada perteneciente a una Megaclase Arachnida (Krantz, 1970; Savory, 1977; Shultz, 1990).

En general, entre las principales características morfológicas de los acáridos esta la división del cuerpo en proterosoma o gnatosoma e histerosoma o idiosoma debido a modificaciones de la segmentación. Esta división ocurre usualmente entre el segundo y tercer par de patas. Además, los acáridos en general no poseen ojos y los quelíceros trisegmentados pueden ser quelados, perforadores o altamente modificados como estructuras desgarradoras. Los pedipalpos son hexasegmentados y varían de acuerdo al grupo taxonómico. En cuanto a las patas, la característica general de la clase es poseer cuatro pares. Sin embargo, en muchos grupos éstos se reducen a tres, dos o a un par con una variación similar en el número de segmentos, desde bisegmentados hasta heptasegmentados. Finalmente, también las aperturas genitales y respiratorias varían en posición de acuerdo al grupo taxonómico (Savory, 1977; Shultz, 1990).

Otra diferencia entre los ácaros y arácnidos son los ciclos de vida: aunque la mayoría de las especies son ovíparas, las especies de ácaros ovovivíparas y vivíparas están ampliamente representadas. En general se presentan siete etapas en su ciclo de vida: huevo, prelarva, larva, protoninfa, deutoninfa, tritoninfa y adulto (Hoffmann, 1990). Los ácaros se alimentan de fluídos, ya sea por consumirlo directamente o por secretar enzimas para predigerir y transformar el alimento de sólido a líquido. Debido a esto, la mayoría de los acáridos son especies parásitas, aunque existen algunos grupos con dietas vegetarianas. Además, en general, los ácaros de vida parasítica son hospederos comunes de protozoarios y otros organismos patógenos que causan serias enfermedades en muchos animales; por ejemplo, especies de la familia Trombiculidae poseen larvas ectoparásitas de gran importancia, pues algunas especies causan en el hombre serias dermatitis además de ser vectores de mortales patógenos como la rickettsia (Hoffmann, 1990). El orden Acá-

rida es de amplia distribución mundial, ya que están prácticamente presentes en todos los grupos de vertebrados, en casi todos los invertebrados y pueden vivir a muy bajas temperaturas y en montañas. Debido a su complejo ciclo de vida, muchas de estas especies de ácaros requieren de hospederos únicos (Baker y Cunliffe, 1960; Elzinga y Rettenmeyer, 1970; Hyland y Moorhouse, 1970; Hoffmann, 1990).

En México se han reportando 2 343 especies en cerca de 809 géneros y 264 familias. Sin embargo, existen cientos de nuevas especies sin determinar, por lo que la fauna acarológica de nuestro país podría estimarse de una manera conservadora en por lo menos 4 500 especies (Hoffmann y López-Campos, 2002). Para el estado de Sonora el conocimiento de la fauna acarológica es muy escaso, pues tan sólo existen registros de 160 especies agrupadas en 27 familias, lo cual representa 6.8% de las especies mexicanas. La clasificación taxonómica de los ácaros en Sonora se presenta en las tablas 6 y 7 para las subclases Parasitiformes y Acariformes, respectivamente. De las especies reportadas en Sonora, 21.3% han sido mencionadas endémicas (34 especies), siendo Trombiculidae, con 19 especies, la familia con mayor número de endemismos (Hoffmann, 1990; Hoffmann y López-Campos, 2000 y 2002).

LITERATURA CITADA

- ARUCHAMI, M. y G. SUNDARA-RAJULU. 1978. An Investigation on the Poison Glands and the Nature of the Venom of *Rhagodes nigrocinctus* (Solifugae: Arachnida). *National Academy Science Letters*, 1: 191-192.
- BAKER, E.W. y F. CUNLIFFE. 1960. Notes of Saprogllyphid Mites Associated with Solitary Wasps (Acarina: Saprogllyphidae) Proceedings of the Entomological Society of Washington 63: 163-177.
- BANKS, N. 1898. Arachnida from Baja California and other Parts of Mexico. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 1: 205-308.
- BARTH, F.G. y E.A. SEYFARTH. 1972. Compound Slit Sense Organs on the Spider's leg. *Journal of Comparative Physiology* 78: 176-191.
- BEATTY, J.A. y J.W. BERRY. 1988. The Spider Genus *Paratheuma* Bryant (Araneae, Desidae) *Journal of Arachnology* 16: 47-54.
- BINFORD, G.J. y M.A. WELLS. 2003. The Phylogenetic Distribution of Sphingomyelinase D Activity in Venoms of Haplogyne Spiders. *Comparative Biochemistry and Physiology B* 135: 25-33.
- BOND, J.E. y B.D. OPELL. 1997. Systematics of the Spider Genera *Mallos* y *Mexitlia* (Araneae, Dictynidae) *Zoological Journal of the Linnean Society* 119: 389-445.
- BOUDREAUX, H.B. 1979. *Arthropod Phylogeny with Special Reference to Insects*. John Wiley and Sons. Nueva York, 320 pp.
- BRUSCA, R.C. y G.J. BRUSCA. 2003. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Sunderland, Inglaterra.
- BUENO-VILLEGAS, J., P. SIERWALD y J.E. BOND. 2004. Diplopoda. En: J. Llorente, J.J. Morrone, O. Yáñez e I. Vargas, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. IV. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 569-599.
- CAMPBELL, N.A. 1996. *Biology*. Benjamin/Cummings Publishing, Nueva York.
- CANDIA-CARNEVALI, M.D. y R. VALVASSORI. 1982. Active Superconcentration in Rolling-Up Muscles of *Glomeris marginata* (Myriapoda, Diplopoda) *Journal of Morphology* 172: 75-82.
- CAPES, E.M. 2001. Description of a New Species in the *Nitidulus* Group of the Genus *Vaejovis* (Scorpiones, Vaejovidae) *The Journal of Arachnology* 29: 42-46.
- CARREL, J. y T. EISNER. 1984. Spider Sedation Induced by Defensive Chemicals of Millipede prey. *Proceedings of the National Academy of Science* 81: 806-810.
- CASTREZANA, S. y T.A. MARKOW. 2001. Arthropod Diversity in Necrotic Tissue of Three Species of columnar cacti (Cactaceae) *The Canadian Entomologist* 133: 301-309.
- CEBALLOS, A. 2004. Pseudoscorpionida. En: J. Llorente, J.J. Morrone, O. Yáñez e I. Vargas, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. IV. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 417-429.
- CHAMBERLIN, J.C. 1921. Notes on the Genus *Garipus*

- in North America (Pseudoscorpionida-Cheliferidae) *Canadian Entomology* 53: 186-191.
- CHAMBERLIN, J.C. 1923. New and Little Known Pseudoscorpions, Principally from the Islands and Adjacent Shores of the Gulf of California. *Proceedings of the California Academy Sciences* 12: 353-387.
- CHAMBERLIN, J.C. 1931. The Arachnid Order Chelonehida. Stanford University Publications, *Biological Sciences* 7: 1-284.
- CHAMBERLIN, R.V. 1923. On Chilopods and Diplopods from Islands in the Gulf of California. *Proceedings of the California Academy Sciences* 12: 389-407.
- CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. 1955. Some Aspects of the Biology of Centipides and Scorpions. *Naturalist*: 147-153.
- CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. 1968. *Spiders, Scorpions, Centipedes and Mites*. Pergamon Press, Oxford.
- CODDINGTON, J.A. y H.W. LEVI. 1991. Systematics and Evolution of Spiders (Araneae) *Annual Review of Ecology and Systematics* 22: 565-592.
- CORNER, W., T. JONES, T. EISNER y J. MEINWALD. 1977. Benzoyl Cyanide in the Defensive Secretion of a Polydesmoid Millipedes. *Experimentia* 33: 206-207.
- CURTIS, D.J. 1969. A Note on the Eyes of Harvestmen (Arachnida, Phalangida) and Correlations with their Habitat. *Bulletin of the British Arachnological Society* 1: 61-62.
- DAVIS, R.M. y R.B. LOOMIS. 1971. The Intranasal Chigger *Microtrombicula merrihewi* (Acarina: Trombiculidae) in the North American Free-Tailed Bat, *Tadarida brasiliensis*. *Southwestern Naturalist* 15: 437-458.
- DONDALE, C.D., M.L. JIMÉNEZ y G. NIETO. 2005. A New Genus of Wolf Spider from Mexico and Southern United States, with Description of a New Species from Texas (Araneae: Lycosidae) *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76(1): 41-44.
- DONDALE, C.D. y J.H. REDNER. 1983. Revision of the Wolf Spiders of the Genus *Arctosa* C. L. Koch in North and Central America (Araneae: Lycosidae) *Journal of Arachnology* 11: 1-30.
- DUE, A.D. y G.A. POLIS. 1986. Trends in Scorpion Diversity along the Baja California Peninsula. *The American Naturalist* 128: 460-468.
- EDGAR, A.L. 1963. Proprioception in the Legs of Phalangids. *The Biological Bulletin of the Marine Biological Laboratory Woods Hole* 124: 262-267.
- EERNISSE, D.J., J.S. ALBERT y F.E. ANDERSON. 1992. Annelida and Arthropoda are not Sister Taxa: A Phylogenetic Analysis of Spiralian Metazoan Morphology. *Systematic Biology* 41(3): 305-330.
- ELZINGA, R.J. y C.W. RETTENMEYER. 1970. Five New Species of *Planodiscus* (Acarina: Uropodina) Found on Doryline Ants. *Acarologia* 16(4): 59-70.
- GARCÍA, E. 1996. Diversidad climático vegetal en México. En: J. Llorente, A.N. García y E. González. eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 15-25.
- HADLEY, N.F. y S.C. WILLIAMS. 1968. Surface Activities of Some North American Scorpions in Relation to Feeding. *Ecology* 49(4): 726-734.
- HAMMEN, L.V.D. 1989. *An Introduction to Comparative Arachnology*. SPB Academic Publishing, La Haya, Países Bajos.
- HAMMOND, P.M. 1992. Species Inventory. En: B. Grombridge, ed. *Global Diversity. Status of the Earth's Living Resources*. World Conservation Monitoring Centre, Chapman and Hall, Londres, 17-39.
- HENDRIXSON, B.E. 2001. A New Species of *Vaejovis* (Scorpiones, Vaejovidae) from Sonora, Mexico. *The Journal of Arachnology* 29: 47-55.
- HOFFMAN, R.L. 1954. A New Milliped of the Genus *Colactis* from Mexico (Chordeumida, Lysiopetalidae) *American Museum Novitates* 1673: 1-4.
- HOFFMANN, A. 1990. *Los trombicúlidos de México* (Acarida: Trombiculidae) Universidad Nacional Autónoma de México, *Publicaciones Especiales del Instituto de Biología* 2, México.
- HOFFMANN, A. y G. LÓPEZ-CAMPOS. 2000. *Biodiversidad de los ácaros en México*. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- HOFFMANN, A. y G. LÓPEZ-CAMPOS. 2002. Acari. En: J. Llorente y J.J. Morrone, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. III. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 223-276.
- HOFFMANN, C.C. 1931a. Monografías para la entomología médica de México. Monografía núm. 2, Los escorpiones de México. Primera parte: Diplocentridae, Chactidae, Vejovidae. Universidad Nacional Autónoma de México, *Anales del Instituto de Biología* 2: 291-408.
- HOFFMANN, C.C. 1931b. Los escorpiones de México. Primera parte: Diplocentridae, Chactidae, Vejovidae. Universidad Nacional Autónoma de México,

- Anales del Instituto de Biología* 8: 291-408.
- HOPKIN, S.P. y H.J. READ. 1992. *The Biology of Millipedes*. Oxford University Press, Oxford.
- HYLAND, K.E. y A.S. MOORHOUSE. 1970. Nasal Mites from Mexican Birds. Rhinonyssidae (Mesostigmata) from the Host Family Tyrannidae. *Acarologia* 12: 43-58.
- JIMÉNEZ, M.L. 1996. Araneae. En: J. Llorente, A.N. García y E. González, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 82-101.
- KASTON, B.J. 1978. *How to know the Spiders*. W.C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- KIM, K.C. 1993. Biodiversity, Conservation and Inventory: why Insects Matter. *Biodiversity and Conservation* 2: 191-214.
- KRANTZ, G.W. 1970. *A Manual of Acarology*. Corvallis, Oregon.
- KURY, A.B. y J.C. COKENDOLPHER. 2000. Opiliones. En: J. Llorente, E. González y N. Papavero, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 137-157.
- LEVI, H.W. 1956. The Spider Genera *Neottiura* and *Anelosimus* (Araneae: Theridiidae) *Transactions of the American Microscopical Society* 75: 407-422.
- LEVI, H.W. 1959a. Problems in the Spider Genus *Steatoda* (Theridiidae) *Sistematic Zoology* 8: 107-116.
- LEVI, H.W. 1959b. The Spider Genus *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae) *Transactions of the American Microscopical Society* 78: 7-43.
- LEWIS, J.G.E. 1981. *The Biology of Centipedes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LLORENTE, J., E. GONZÁLEZ, A.N. GARCÍA y C. CORDEIRO. 1996. Breve panorama de la taxonomía de artrópodos en México. En: J. Llorente, A.N. García y E. González, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 3-14.
- LOOMIS, R.P. 1964. A New Species of Chigger (Acarina: Trombiculidae) from Lizards in Western North America. *Great Basin National* 24: 13-17.
- LOOMIS, R.P. 1971. The Genus *Euschoengastoides* (Acarina: Trombiculidae) from North America. *Journal of Parasitology* 57: 689-707.
- LOOMIS, R.P. y J.L. LUCAS. 1969. A New Species of *Hexidionis* (Acarina: Trombiculidae) from Kangaroo Rats (genus *Dipodomys*) of Western North America. *Bulletin of the Southern California Academy of Science* 69: 225-228.
- LOOMIS, R.P. y J.L. LUCAS. 1970. A New Subgenus and Two Species of *Hexidionis* (Acarina: Trombiculidae) from North America. *Bulletin of the Southern California Academy of Science* 69: 52-59.
- LOOMIS, R.B. y R. STHEPENS. 1962. *Marmosa canescens* in Sonora, Mexico. *Journal of Mammalogy* 43: 111.
- LOOMIS, R.B. y R. STHEPENS. 1965. Cliff Chipmunk from the Vicinity of Guaymas, Sonora. *Journal of Mammalogy* 46: 501.
- LOURENÇO, W.R. 2000. Reproduction in Scorpions, with Special Reference to Parthenogenesis. *European Arachnology*: 71-85.
- LOURENÇO, W.R. y W.D. SISSOM. 2000. Escorpiones. En J. Llorente, E. González y N. Papavero, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. vol. II. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 115-135.
- LUCAS, J.L. y R.B. LOOMIS. 1968. The Genus *Hexidionis* (Acarina: Trombiculidae) with the Description of a New Species from Western Mexico. *Bulletin of the Southern California Academy of Science* 67: 233-239.
- MANTON, S.M. 1977. *The Arthropoda*. Oxford University Press, Oxford.
- MASTA, S.E. 2000. Phylogeography of the Jumping Spider *Habronattus pugillis* (Araneae: Salticidae): Recent Vicariance of Sky Island Populations? *Evolution* 54: 1699-1711.
- MEGLITSCH, P.A. y F.R. SCHRAM. 1991. *Invertebrate Zoology*. Oxford University Press, Oxford.
- MITTER, C., B. FARREL y D.J. FUTUYMA. 1991. Phylogenetics Studies on Insect-Plant Interactions: Insight into the Genesis of Diversity. *Trends in Ecology and Evolution* 6: 190-293.
- MUMA, M.H. 1951. The Arachnid Order Solpugida in the United States. *Bulletin American Museum Natural History* 97: 1-141.
- NIELSEN, C., N. SCHARFF y D. EIBYE-JACOBSEN. 1996. Cladistic Analyses of the Animal Kingdom. *Biological Journal of the Linnean Society* 57: 385-410.
- PINTO-DA ROCHA, R. y G. GIRIBET. 2007. Taxonomy. En: R. Pinto-Da Rocha, G. Machado y G. Giribet, eds. *Harvestmen the Biology of Opiliones*. Harvard University Press, Cambridge, 597 p.
- PLATNICK, N.I. 1977. Notes on the Spider Genus *Pa-*

- ratheuma* Bryant (Arachnida, Araneae). *Journal of Arachnology* 3: 199-201.
- PLATNICK, N.I. 2008. The World Spider Catalog. Version 9.0. The American Museum of Natural History, Nueva York (<http://research.amnh.org/entomology/spiders/catalog/COUNTS.html>).
- PLATNICK, N.I. y D. UBICK. 2005. A Revision of the North American Spider Genus *Anachemmis* Chamberlin (Araneae: Tenebrionidae) *American Museum Novitates* 3477: 1-20.
- POLIS, G.A. y S.J. MCCORMICK. 1986. Patterns of Resource Use and Age Structure among Species of Desert Scorpions. *The Journal of Animal Ecology* 55: 59-73.
- QUINTERO, D. JR. 1982. Bifid Spines in *Paraphrynus azteca* (Pocock) (Amblypygi: Phryniidae). *Journal of Arachnology* 11: 99-100.
- RANTALA, M. 1974. Sex ratio and periodomorphosis of *Proteroiulus fuscus* (Diplopoda, Blaniulidae) *Symposia of the Zoological Society of London* 32: 463-469.
- RICHMAN, D.B. 1989. A Revision of the Genus *Hentzia* (Araneae, Salticidae) *Journal of Arachnology* 17: 285-344.
- RICHMAN, D.B. y R.S. VITTER. 2004. A Review of the Genus *Thiodina* (Araneae, Salticidae) in the United States. *Journal of Arachnology* 32: 418-431.
- SAVORY, T. 1977. *Arachnida*. Academic Press, Londres.
- SCHRAM, F.R. y C.H.J. HOF. 1998. Fossils and the Interrelationships of Major Crustacean Groups. En: O.D. Edgecombe, ed. *Arthropod Fossils and Phylogeny*. Columbia University Press, Nueva York, pp. 233-302.
- SHELLEY, R.M. 1966. The Millipede Order Callipodida in Western North America (Schizopetalidae: Tynommatinae), and a Summary of New World Fauna. *Entomologica Scandinavica* 27: 25-64.
- SHELLEY, R.M. 2003. A Revised, Annotated, Family-Level Classification of the Diplopoda. *Arthropoda Selecta* 11: 187-203.
- SHULTZ, J.W. 1990. Evolutionary Morphology and Phylogeny of Arachnida. *Cladistics* 6: 1-38.
- SIERWALD, P. 2000. Description of the Male of *Sosippus placidus*, with Notes on the Subfamily Sosippinae (Araneae, Lycosidae) *Journal of Arachnology* 28: 133-140.
- SISSOM, W.D. 1988. *Diplocentrus colwelli*, a New Species of Scorpion from Northern Mexico (Diplocentridae) *Insecta Mundi* 1: 255-258.
- SISSOM, W.D. 1991. The genus *Vaejovis* in Sonora, Mexico (Scorpiones: Vaejovidae). *Insecta Mundi* 5: 215-225.
- SISSOM, W.D. y B.E. HENDRIXSON. 2005. Scorpion Biodiversity and Patterns of Endemism in northern Mexico. En: J.-L.E. Cartron, ed. *Biodiversity, Ecosystems and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York.
- SMITH, K.G.V. 1973. *Insects and Other Arthropods of Medical Importance*. British Museum Natural History, Londres.
- SMOLANOFF, J., A.F. KLUGE, J. MEINWALD, A. MCPHAIL, R.W. MILLER, K. HICKS y T. EISNER. 1975. Polyzoimine: a novel terpenoid insect repellent produced by a millipede. *Science* 188: 734-736.
- SNOW, K.R. 1970. *The arachnids: An Introduction*. Columbia University Press, Nueva York.
- STAHNKE, H.L. 1938. The Venomous Effects of Some Arizona Scorpions. *Science* 28: 166-167.
- TIEGS, O.W. y S.M. MANTON. 1958. The Evolution of the Arthropoda. *Biological Reviews* 33: 255-337.
- UBICK, D., P. PAQUIN, P.E. CUSHING y V. ROTH, eds. 2005. *Spider of North America: an Identification Manual*. American Arachnological Society, 377 p.
- VÁZQUEZ, I. 1996a. Palpigradi. En: J.E. Llorente, A.N. García y E. González, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 59-61.
- VÁZQUEZ, I. 1996b. Schizomida. En: J. Llorente, A.N. García y E. González, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 63-66.
- VÁZQUEZ, I. 1996c. Uropygi. En: J. Llorente, A.N. García y E. González, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 67-69.
- VÁZQUEZ, I. 1996d. Amblypygi. En: J. Llorente, A.N. García y E. González, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: Hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 71-73.
- VÁZQUEZ, I. 1996e. Recinulei. En: J. Llorente, A.N. García y E. González, eds., *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 79-82.
- VÁZQUEZ, I. 1996f. Solifugae. En: J. Llorente, A.N. García y E. González, eds. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de Artrópodos en México: hacia una sín-*

- tesis de su conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 75-78.
- VETTER, R. 2001. Revision of the Spider Genus *Neoanagraphis* (Araneae, Liocranidae) *The Journal of Arachnology* 29: 1-10.
- VETTER R.S. y J.C. COKENDOLPHER. 2000. *Homalonychus theologus* (Araneae, Homalonychidae): Description of Eggsacs and a Possible Defense Posture. *Journal of Arachnology* 28: 361-363.
- WALTET, D.E. y H.C. PROCTOR. 1998. Feeding Behavior and Phylogeny: Observations on Early Derivative Acari. *Experimental and Applied Acarology* 22: 39-50.
- WEYGOLDT, P. 1969. *The Biology of Pseudoscorpions*. Harvard University Press. Cambridge.
- WHEELER, W.C., M.F. WHITING, Q.D. WHEELER y J.M. CARPENTER. 2001. The Phylogeny of the Extant Hexapods Orders. *Cladistics* 17: 123-169.
- WILSON, E.O. 1992. *The Diversity of Life*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Tabla 1. Clasificación de la Clase Diplopoda para las especies presentes en el estado de Sonora

Phyllum **Arthropoda**
 Subphyllum **Myriapoda**
 Clase **Diplopoda**
 Subclase **Helminthomorpha**
 Orden **Spirostreptida**
 Familia **Spirostreptidae**
Orthoporus nesiotus^{(a)*}
Orthoporus ornatus^(a)
 Orden **Siphonophorida**
 Familia **Siphonophoridae**
Siphonacme pseustes^{(a)*}
 Orden **Callipodida**
 Familia **Schizopetalidae**
Colactis tiburona^(a)
Colactis quadrata^{(b)*}

* Especie endémica al estado de Sonora.

(a) Chamberlin, R.V. 1923; (b) Shelley, 1966.

Tabla 2. Clasificación para la Clase Aracnida propuesta por Savory (1977)

Phyllum **Arthropoda**
 Subphyllum **Chelicerata**
 Clase **Aracnida**
 Subclase **Scorpionmorphae**
 Orden **Scorpiones***

Subclase **Arachnomorphae**
 Infraclase **Palpigradoidea**
 Orden **Palpigradi**

Infraclase **Arachnoidea**
 Cohorte **Uropygaceae**
 Superorden **Uropygoides**
 Orden **Uropygi**
 Orden **Schizomida**

Cohorte **Aranaceae**
 Superorden **Aranoides**
 Orden **Amblypygi***

Orden **Araneae***

Superorden **Kustarachoides**
 Orden **Kustarachnae**

Subclase **Opilionomorphae**
 Infraclase **Trigonotarboidea**
 Superorden **Trigonotarboidea**
 Orden **Trigonotarbi**

Superorden **Anthracomartoides**
 Orden **Anthracomarti**
 Orden **Haptopoda**

Infraclase **Opilionoidea**

Tabla 2 (concluye). Clasificación para la Clase Aracnida propuesta por Savory (1977)

Cohorte **Ricinuliaceae**
 Orden **Ricinulei**

Cohorte **Opilionaceae**
 Superorden **Opilionoides**
 Orden **Opiliones***

Orden **Cyphophthalmi**

Superorden **Acaroides****
 Orden **Acari**

Cohorte **Arachitarbaceae**
 Orden **Architarbi**

Subclase **Chelonethomorphae**
 Orden **Pseudoscorpiones***

Orden **Solifugae***

* Ordenes de arácnidos presentes en el estado de Sonora.

** El superorden Acaroides según Savory (1977) se desconoce como parte de la Clase Arachnida en el presente capítulo y se trata como otra Clase de artrópodos de acuerdo a la clasificación presentada por Hoffmann y López-Campos (2000 y 2002).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de las especies arácnidas en el orden Scorpiones presentes en el estado de Sonora (modificado de Sissom y Hendrixson, 2005)

Phyllum **Arthropoda**
 Subphyllum **Chelicerata**
 Clase **Aracnida**
 Subclase **Scorpionmorphae**
 Orden **Scorpiones**
 Familia **Buthidae**
Centruroides exilicauda
Centruroides pallidiceps

Familia **Diplocentridae**
Diplocentrus colwelli^(c)
Diplocentrus gertschi
Diplocentrus spitzeri
*Diplocentrus williamsi**

Familia **Iuridae**
Hadrurus arizonensis arizonensis
Hadrurus arizonensis pallidus
Hadrurus hirsutus^(c)

Familia **Superstitionidae**
Superstitionia donensis

Familia **Vaejovidae**
Paruroctonus baergi
Paruroctonus borregoensis borregoensis
Paruroctonus stahnkei
Paruroctonus xanthus

Tabla 3 (concluye). Clasificación taxonómica de las especies arácnidas en el orden Scorpiones presentes en el estado de Sonora (modificado de Sissom y Hendrixson, 2005)

<i>Paruroctonus mesaensis</i>
<i>Serradigitus agilis</i>
<i>Serradigitus allredi</i>
<i>Serradigitus hearnei</i>
<i>Serradigitus polisi</i> *
<i>Serradigitus subtilimanus</i>
<i>Serradigitus yaqui</i> *
<i>Vaejovis confusus</i>
<i>Vaejovis decipiens</i>
<i>Vaejovis gravicaudus</i> ^(d)
<i>Vaejovis mauryi</i> ^(a) *
<i>Vaejovis pequeno</i> ^(b) *
<i>Vaejovis sonora</i> *
<i>Vaejovis spinigerus</i>

* Especie endémica al estado de Sonora.

(a) Capes, 2001; (b) Hendrixson, 2001; (c) Hadley y Williams, 1968; (d) Sissom, 1991; (e) Sissom, 1988.

Tabla 4. Clasificación taxonómica de las 165 especies en el orden Araneae (Phyllum **Arthropoda**, Subphyllum **Chelicerata**, Clase **Aracnida**, Subclase **Arachnomorphae**, Infraclasse **Arachnoidea**, Cohorte **Aranaceae**, Superorden **Aranoides**) presentes en el estado de Sonora
Lista modificada de Jiménez (2006, com. pers.)

Suborden Orthognatha
Familia Theraphosidae
<i>Rhechostica helluo</i>
Familia Dipluridae
<i>Euagrus pragmaticus</i>
<i>Euagrus rubrigularis</i>
Suborden Labidognatha
Sección Cribellatae
Familia Filistatidae
<i>Kukulcania hibernalis</i>
Familia Oecobiidae
<i>Oecobius isolatoides</i>
<i>Oecobius putus</i>
Familia Uloboridae
<i>Philoponella oweni</i>
Familia Dictynidae
<i>Mallos dugesi</i> ^(m)
<i>Mallos pallidus</i> ^(m)
<i>Mallos niveus</i> ^(m)
<i>Mexitlia trivittata</i> ^(m)

Familia Tengellidae
<i>Anachemmis beattyi</i> ^(a)
Sección Ecribellatae
Familia Sicariidae
<i>Loxosceles alamosa</i> ^(b)
<i>Loxosceles arizonica</i>
<i>Loxosceles coyote</i>
<i>Loxosceles seri</i>
<i>Loxosceles sonora</i>
<i>Loxosceles unicolor</i>
Familia Scytodidae
<i>Scytodes fusca</i>
<i>Scytodes perfecta</i>
Familia Diguetidae
<i>Diguetia albolineata</i>
<i>Diguetia imperiosa</i>
Familia Plectreuridae
<i>Plectreurys tristis</i>
Familia Segestriidae
<i>Ariadna bicolor</i>
<i>Ariadna pragmatica</i>
Familia Caponidae
<i>Tarsonops systematicus</i>
Subsección Trionycha
Familia Pholcidae
<i>Physocyclus tanneri</i>
<i>Psilochorus papago</i>
Familia Theridiidae
<i>Achaearana hermosillo</i>
<i>Achaearana tepidariorum</i>
<i>Anelosimus analyticus</i> ^(c)
<i>Anelosimus studiosus</i>
<i>Argyrodes baboquivari</i>
<i>Argyrodes elevatus</i>
<i>Dipoena buccalis</i>
<i>Dipoena dorsata</i>
<i>Dipoena malkini</i>
<i>Euryopsis texana</i>
<i>Latrodectus mactans</i> ^(d)
<i>Parasteatoda tepidariorum</i> ^(d)
<i>Steatoda americana</i>
<i>Steatoda fulva</i>
<i>Steatoda medialis</i>
<i>Steatoda punctulata</i> ^(e)
<i>Steatoda transversa</i>
<i>Theridion dilutum</i>
<i>Theridion hispidum</i>
<i>Theridion murarium</i>
<i>Theridion opuntia</i>

- Theridion submissum*
Theridula gonygaster
 Familia **Linyphiidae**
Linyphantes tragicus
Eperigone eschatologica
Eperigone formosa
Frontinella pyramitela
Grammonota insana
 Familia **Tetragnathidae**
Metellina mimetoides
 Familia **Agelenidae**
Tegenaria pagana
 Familia **Desidae**
Paratheuma interaesta ^{(f)(g)}
 Familia **Pisauridae**
Dolomedes triton
Tinus peregrinus
 Familia **Trechaleidae**
Trechalea gertschi
 Familia **Araneidae**
Araneus pegnia
Araneus pima
Argiope argentata
Argiope trifasciata
Cyclosa conica
Eriophora edax
Gasteracantha cancriformis
Gea heptagon
Metepeira ventura
Micrathena funebris
Neoscona arabesca
Neoscona oaxacensis
Ocrepeira globosa
Wagneriana spicata
Wixia globosa
 Familia **Lycosidae**
Allocosa apora
Arctosa serii ^(h)
Arctosa littoralis ^(h)
Camptocosa parallela ⁽ⁱ⁾
Lycosa adusta
Lycosa coloradensis
Lycosa injusta
Pardosa saltonia
Pardosa sternalis
Pardosa steva
Pardosa vadosa
- Pardosa valens*
Sosippus californicus ^(j)
Sosippus pragmaticus
 Familia **Miturgidae**
Syspira analytica
Syspira longipes
Syspira synthetica
Syspira tigrina
 Familia **Oxyopidae**
Hamataliwa positiva
Oxyopeidon absolutum
Oxyopes acutus
Oxyopes flavus
Oxyopes tridens
Peucetia viridans
 Subsección **Dionycha**
 Familia **Gnaphosidae**
Callilepis gertschi
Cesonia classica
Cesonia iviei
Cesonia lugubris
Drassyllus arizonensis
Drassyllus callus
Eilica bicolor
Gertschosa concinna
Gnaphosa sonora
Gnaphosa synthetica
Herpyllus convallis
Herpyllus excelsus
Herpyllus hesperolus
Herpyllus reservatus
Micaria gosiuta
Micaria imperiosa
Micaria jeanae
Micaria longipes
Nodocion eclecticus
Scopoides bryantae
Sergiolus stella
Urozelotes rusticus
Zelotes indecicus
Zelotes lasalanus
Zelotes monachus
Zelotes protestans
Zelotes reformans
 Familia **Homalonychidae**
Homalonychus selenopoides ^(k)
Homalonychus theologus ^(k)

- Familia **Liocranidae**
Neoanagraphis chamberlini⁽¹⁾
Neoanagraphis pearcei⁽¹⁾
- Familia **Anyphaenidae**
Anyphaena alamos
Aysa incurva
Wulfila immaculellus
- Familia **Ctenidae**
Anahita punctulata
Leptoctenus sonoraensis
- Familia **Selenopidae**
Selenops actophilus
- Familia **Thomisidae**
Misumenops celer
Misumenops devius
Misumenops modestus
Xysticus lutzii
- Familia **Philodromidae**
Apollophanes punctipes
Ebo mexicanus
Thanatus vulgaris
- Familia **Salticidae**
Agassa cyanea
Dendryphantes hastatus
Dendryphantes zygoballoides
Habronattus dorsalis
Habronattus mexicanus
Habronattus pyrithrix
Habronattus pugillus⁽ⁿ⁾
Hentzia palmarum^(o)
Hentzia poenitens^(o)
Marpissa californica
Menemerus semilimbatus
Metacyrba taeniola
Pseudicius encarpatus
Salticus scenicus
Sarinda nigra
Sassacus papenboei
Thiodina iniquies
Thiodina nicoleti
Thiodina hespera^(p)
Tylogonus auricapillus

(a) Platnick y Ubick, 2005; (b) Binford y Wells, 2003; (c) Levi, 1956; (d) Levi, 1959a; (e) Levi, 1959b; (f) Platnick, 1977; (g) Beatty y Berry, 1988; (h) Dondale y Redner, 1983; (i) Dondale *et al.*, 2005; (j) Sierwald, 2000; (k) Vetter y Cokendolpher, 2000; (l) Vetter, 2001; (m) Bond y Opell, 1997; (n) Masta, 2000; (o) Richman, 1989; (p) Richman y Vitter, 2004.

Tabla 5. Clasificación del Orden Pseudoscorpionida para las especies presentes en el estado de Sonora

Phylum **Arthropoda**

Clase **Aracnida**

Orden **Pseudoscorpionida**

Familia **Ideoroncidae**
Albiorix mexicanus^(a)

Familia **Garypidae**
Garypus sini^(b)

Familia **Menthidae**
Menthus gracilis^{(a)*}
Menthus rossi^(c)

Familia **Olpiidae**
Serianus arboricola^(c)
Serianus serianus^(c)
Solinus corticolus^(c)

Familia **Sternophoridae**
Garyops sini^(c)

Familia **Chernetidae**
Dinocheirus arizonensis^(d)

* Especie endémica al estado de Sonora.

(a) Banks, 1898; (b) Chamberlin, 1921; (c) Chamberlin, J.C., 1923; (d) Castrezana y Markow, 2001.

Tabla 6. Clasificación taxonómica de las 40 especies de la subclase Parasitiformes (Acarida) presentes en el estado de Sonora. Extracción de Hoffmann y López-Campos (2000 y 2002)

Clase **Acarida** (=Acaromorpha)

Subclase **Parasitiformes**

Orden **Mesostigmata** (=Gamasida)

Sección **Monogynaspides**

Suborden **Dermanissina**

Superfamilia **Eviphidoidea**

Familia **Macrochelidae**
Macrocheles muscaedomesticae

Superfamilia **Ascoidea**

Familia **Phytoseiidae**
Euseius hibisci

Superfamilia **Dermanysoidea**

Familia **Dermanyssidae**
Dermanyssus gallinae

Familia **Hirstionyssidae**
Hirstionyssus incomptis
*Hirstionyssus triacanthus**

Familia **Laelapidae**

Tabla 6 (concluye). Clasificación taxonómica de las 40 especies de la subclase Parasitiformes (Acarida) presentes en el estado de Sonora. Extracción de Hoffmann y López-Campos (2000 y 2002)

Androlaelaps leviculus
Androlaelaps fahrenheitzi
Laelaps nuttalli ⁽²⁾
Laelaps echidninus ⁽⁴⁾

Familia **Macronyssidae**
*Cryptonyssus desultorius**
Ornythonyssus bacoti ⁽²⁾
Ornythonyssus bursa ⁽²⁾

Familia **Spinturnicidae**
*Spinturnix mexicanus**

Orden **Ixodida** (=Metastigmata)
 Superfamilia **Ixodoidea**
 Familia **Argasidae**
*Argas giganteus**
Argas sanchezi
Ornithodoros rossi
Ornithodoros talaje
Ornithodoros coriaceus
Ornithodoros nicollei
Ornithodoros concanensis ⁽³⁾
Ornithodoros hermsi ⁽³⁾
Otobius megnini ⁽²⁾

Familia **Ixodidae**
Amblyomma cajennense ⁽²⁾
Anocentor nitens ⁽²⁾
Aponomma elaphensis ⁽³⁾
Boophilus annulatus ⁽²⁾
Boophilus microplus ⁽²⁾
Dermacentor andersoni ⁽⁵⁾
Dermacentor hunteri
Dermacentor variabilis
Dermacentor parumapertus
Ixodes auritulus ⁽⁴⁾
Ixodes brunneus ⁽⁵⁾
Ixodes conepati ⁽⁵⁾
Ixodes diversifossus ⁽⁵⁾
Ixodes kingi ⁽⁵⁾
Ixodes rugosus ⁽⁵⁾
Ixodes sculptus ⁽⁵⁾
Ixodes texanus ⁽⁵⁾
Rhipicephalus sanguineus ⁽²⁾

(*) Especies endémicas al estado de Sonora.

(2) Especies mencionadas como «en todo el país».

(3) Especies mencionadas como «en el norte de México».

(4) Especies mencionadas como «probables en todo el país».

(5) Especies mencionadas como «probables en el norte de México»

Tabla 7. Clasificación taxonómica de las 120 especies de la subclase Acariformes (Acarida) presentes en el estado de Sonora. Extracción de Hoffmann y López-Campos (2000 y 2002)

Clase **Acarida**
 Subclase **Acariformes**
 Orden **Prostigmata** (=actinedida)
 Suborden **Eupodina**
 Superfamilia Tydeoidea
 Familia **Tydeidae**
Pronematus ubiquitus

Suborden **Eleutherengona**
 Cohorte **Raphignatha**
 Superfamilia **Cheyletoidea**
 Familia **Cheyletidae**
*Cheyletus fortis**
 Especie indeterminada
 Familia **Syringophilidae**
Syringophilus bipectinatus

Familia **Demodicidae**
Demodex bovis ⁽²⁾
Demodex canis ⁽²⁾
Demodex equi ⁽²⁾
Demodex folliculorum ⁽²⁾
Demodex phylloides ⁽²⁾

Superfamilia **Tetranychoidae**
 Familia **Tetranychidae**
Pseudobryobia drummondi
Pseudobryobia ephedrae
Georgiobia ambrosiae
Georgiobia haplopappi
Hystrichonychus gracilipes
Hystrichonychus sidae
Langella mexicana
Langella prosopis
Petrobia latens
Neotrichobia arizonensis
Eutetranychus banksi
Eotetranychus deflexus
Eotetranychus fremonti
*Eotetranychus guaymas**
Eotetranychus lewisi ⁽²⁾
Eotetranychus malvastris
Eotetranychus prosopis
*Eotetranychus vaughni**
Eotetranychus yumensis
Mononychellus tephrosiae
Oligonychus ununguis
Oligonychus pratensis

- Oligonychus stickneyi*
Panonychus citri
*Schizotetranychus prosopis**
*Sonotetranychus daleae**
Tetranychus desertorum
Tetranychus hydrangeae
Tetranychus turkestanii
- Familia **Tenuipalpidae**
- Aegyptobia cactaceae*
*Aegyptobia glyptus**
*Aegyptobia incarnatae**
Aegyptobia macswainii
Aegyptobia solanum
Brevipalpus crotoni
- Familia **Tenuipalpidae**
- Brevipalpus enceliae**
*Brevipalpus frankeniae**
Brevipalpus lewisi
Brevipalpus nodiflorae
Brevipalpus phoenicis
Brevipalpus trinidadensis
Pseudoleptus palustris
- Superfamilia **Eriophyoidea**
- Familia **Eriophyidae**
- Aculops lycopersici*
Heterotergum schlingeri⁽³⁾
- Cohorte **Heterostigma**
- Superfamilia **Tarsonemoidea**
- Familia **Tarsonemidae**
- Acarapis woodi*⁽²⁾
I. ponemos truncatus⁽³⁾
- Suborden **Anystina**
- Superfamilia **Anystoidea**
- Familia **Teneriffiidae**
- Teneriffia mexicana**
- Superfamilia **Pterygosomoidea**
- Familia **Pterygosomidae**
- Geckobiella texana*⁽²⁾
Hirstiella otophila
Pimeliaphilus plumifer
- Suborden **Parasitengona**
- Superfamilia **Trombidioidea**
- Familia **Trombiculidae**
- Subfamilia **Trombiculinae**
- Tribu **Trombiculini**
- Crypticula merrihewi*
*Euschoengastoides annectens**
Euschoengastoides arizonae
Euschoengastoides expansellus
- Euschoengastoides imperfectus*
*Euschoengastoides ryckmani**
Euschoengastoides tanigoshi
Euschoengastoides tumidus
Eutrombicula alfreddugesi⁽²⁾
Eutrombicula batatas
Hexidionis allredi
Hexidionis jessiemae
Hexidionis lacerticola
*Hexidionis navojoae**
Hexidionis breviseta
Hexidionis deserti
*Hexidionis doremi**
*Hexidionis harveyi**
Hyponeocula arenicola
*Hyponeocula desericola**
Hyponeocula imitator
Hyponeocula rugosa
Hyponeocula suaricola
*Hyponeocula spathi**
Leptotrombidium panamense
*Microtrombicula aequalis**
*Microtrombicula intermedia**
Microtrombicula phyllodactyli
*Microtrombicula sturnirae**
*Otorhinophyla desertorum**
Otorhinophyla intrasola
Otorhinophyla parvisola
*Speleocola davisi**
*Whartonacarus duplisela**
Whartonacarus nativitatensis
*Whartonacarus shiraii**
- Superfamilia **Trombidioidea**
- Familia **Trombiculidae**
- Subfamilia **Trombiculinae**
- Tribu **Schoengastiini**
- Dermadelema furmani*
Dermadelema sleeperi
Euschoengastia criceticola
*Euschoengastia numerosa**
Euschoengastia otophila
Euschoengastia radfordi
*Euschoengastia stephensi**
Perissopalla lipoglana
*Pseudoschoengastia smithi**
- Subfamilia **Leeuwenhoekiiinae**
- Hannemania bufonis**
Hannemania hylae
Odontacarus tubercularis

- Whartonia sonorensis**
- Orden **Astigmata** (=Acaridida)
- Suborden **Acaridia**
- Superfamilia **Histiostomoidea**
- Familia **Histiostomidae** (=Anoetidae)
- Histiostoma* sp.
- Superfamilia **Acaroidea**
- Familia **Acaridae**
- Rhizoglyphus echinopus*
- Thyrophagus longior* ⁽²⁾
- Thyrophagus putrescentiae* ⁽²⁾
- Suborden **Psoroptidia**
- Superfamilia **Pterolichoidea**
- Familia **Pterolichidae**
- Protolichus* sp. ⁽²⁾
- Superfamilia **Psoroptoidea**
- Familia **Psoroptidae**
- Chorioptes bovis* ⁽²⁾
- Psoroptes equi cuniculi* ⁽²⁾
- Superfamilia **Listrophoroidea**
- Familia **Myocoptidae**
- Myocoptes musculus* ⁽⁴⁾
- Suborden **Psoroptidia**
- Superfamilia **Sarcoptoidea**
- Familia **Sarcoptidae**
- Notoedres cati* ⁽⁴⁾
- Notoedres cati cuniculi* ⁽⁴⁾
- Sarcoptes scabiei* ⁽²⁾
- Sarcoptes scabiei bovis* ⁽²⁾
- Sarcoptes scabiei equi* ⁽²⁾
- Sarcoptes scabiei canina* ⁽²⁾
- Sarcoptes scabiei suis* ⁽²⁾
- Sarcoptes scabiei caprae* ⁽²⁾
- Superfamilia **Cytoditoidea**
- Familia **Laminosioptidae**
- Laminosioptes cysticola* ⁽²⁾

(*) Especies endémicas al estado de Sonora.

(2) Especies mencionadas como «en todo el país».

(3) Especies mencionadas como «en el norte de México».

(4) Especies mencionadas como «probables en todo el país».

(5) Especies mencionadas como «probables en el norte de México».

BIODIVERSIDAD DE LOS INSECTOS CON ESPECIAL ÉNFASIS EN LEPIDOPTERA Y ODONATA

RICHARD A. BAILOWITZ¹ Y JOHN PALTING¹

RESUMEN. Se presenta una sinopsis de los insectos de Sonora. Se incluye una reseña histórica sobre el trabajo de campo entomológico en el estado. Se cubren once de los cerca de treinta órdenes conocidos de insectos: Coleoptera, Diptera, Dictyoptera, Hemiptera, Homoptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Neuroptera, Odonata, Orthoptera y Phasmida. Para Odonata y Lepidoptera (mariposas y palomillas, en parte) se incluyen límites del rango de distribución y endemismos y en los apéndices (en disco compacto) se enlistan las 130 especies de Odonata, 338 de mariposas, 61 de Sphingidae y 44 de Saturnidae conocidas del estado. Se hacen recomendaciones para la conservación de esta fauna en el estado.

ABSTRACT. The insects of Sonora are discussed in general. A history of field workers in the state is provided. Eleven of the approximately thirty known orders of insects are discussed including Coleoptera, Diptera, Dictyoptera, Hemiptera, Homoptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Neuroptera, Odonata, Orthoptera, and Phasmida. For Odonata and Lepidoptera (butterflies and moths, in part), discussions on range limitations and endemism are included and appendices (in compact disc) list all 130 species of Odonata, 338 of butterflies, 61 of Sphingidae, and 44 of Saturnidae known from the state. Conservation implications are provided.

INTRODUCCIÓN

Más de un millón de especies de insectos han sido identificadas y descritas al tiempo de este escrito; quizás otro millón o más quedan por identificar (Resh y Cardé, 2003). Los insectos son adorados y temidos, admirados y odiados por la gente de todo

el mundo. Dependemos de ellos consciente o inconscientemente, pero les tenemos pavor. Alimentan a los pájaros y les pican a nuestros niños. Polinizan nuestros cultivos y transmiten enfermedades. Nuestro trabajo como científicos es estudiar sus estructuras, sus hábitos, su vulnerabilidad y su sistemática.

El cuerpo del insecto, a grandes rasgos, se divide en tres secciones: cabeza, tórax y abdomen. La cabeza posee piezas bucales con grandes diferencias en forma y función. También contiene varios apéndices sensoriales como son los palpos y las antenas, así como los ojos compuestos y los ojos simples u ocelos.

El tórax a su vez se divide en pro-, meso- y metasecciones y es el centro de locomoción. Tres pares de patas se unen aquí (en adultos de la mayoría de los taxones) que les permiten caminar, saltar, avanzar y nadar sobre o bajo el agua. También en el tórax se unen las alas. La mayoría de los insectos tiene cuatro alas, las cuales, por lo común, operan como si fueran dos, ya sea por al endurecimiento (*v.g.*, Coleoptera) o vestigiación (pérdida de función, *v.g.*, Diptera) de un par. Alternativamente, muchos grupos tienen dos alas en cada lado unidas de alguna forma (*v.g.*, Lepidoptera), de manera que funcionan como dos alas bilobadas. Las venas de las alas, que son sus estructuras de apoyo, se usan para identificar, algunas veces hasta el nivel de especie, y su disposición es una característica muy útil en la taxonomía de insectos actuales y fósiles y su sistemática.

El abdomen es la tercera sección del cuerpo de un insecto. Contiene gran parte de los espiráculos relacionados con la respiración, el intestino para digerir y excretar y los órganos reproductivos. La

¹ Investigador independiente.

estructura de los órganos reproductivos quitinosos comúnmente es característica de las especies y se usan en la identificación y clasificación. Los insectos tienen sistemas circulatorios con un corazón rudimentario, sistemas endocrinos y exocrinos para comunicarse dentro y fuera del individuo y un sistema nervioso.

Podría decirse que lo más notable y único en la vida de un insecto es su desarrollo en fases, un proceso llamado metamorfosis. Los insectos en general se clasifican en tres superórdenes con base en este tipo de desarrollo. El superorden más primitivo, el Apterygota, con un poco o sin metamorfosis, contiene cuatro órdenes, todos sin alas: Protura, Collembola (colémbolos), Thysanura (lepisma, tisanuros) y Diplura (dipluros). Como es de esperarse para una región tan poco explorada biológicamente como Sonora, se conoce muy poco sobre estos grupos primitivos y pequeños.

Exopterygota es un superorden grande en el cual las fases inmaduras sufren una metamorfosis incompleta para transformarse en adultos. En este grupo, los juveniles se parecen a los adultos y adquieren sus alas externamente conforme maduran. Este superorden incluye Dermaptera (tijerillas), Dictyoptera (cucarachas, termitas y campamochas), Embioptera (embidos), Ephemeroptera (moscas efímeras), Grylloblatodea, Hemiptera (chinches verdaderas), Homoptera (chicharras), Mallophaga (corucos, piojos de las aves, masticadores), Odonata (libélulas), Orthoptera (chapulines), Plecoptera (plecópteros), Psocoptera (piojos de los libros, psocópteros), Siphunculata (piojos chupadores, sifunculados), Thysanoptera y Zoraptera. Aunque de la mayoría de los órdenes de insectos en Sonora se conoce muy poco, algunos como Odonata, recientemente se han inventariado (véase apéndice 1 en disco compacto). Otros órdenes con especies conocidas de Sonora incluyen Dictyoptera, Hemiptera y Homoptera, Orthoptera y Phasmida.

El superorden Endopterygota incluye todos los insectos que sufren una metamorfosis completa (huevo, larva, pupa, adulto). Estos insectos desarrollan alas dentro de sus cuerpos y, antes de transformarse en adultos, sufren una metamorfosis compleja

que incluye una fase pupal en la que no se alimenta. Estos grupos avanzados de insectos contienen algunos órdenes muy poco conocidos, *v.g.*, Mecoptera y Strepsiptera, pero también incluye los órdenes de todos conocidos, *v.g.*, Coleoptera (pinacates, escarabajos), Diptera (moscas), Hymenoptera (hormigas, abejas y avispas o bitachis), Lepidoptera (mariposas y palomillas), Neuroptera (crisopas), Siphonaptera (pulgas) y Trichoptera. Se conoce muy poco sobre la mayoría de estos órdenes en Sonora, a excepción de Lepidoptera, el cual se ha inventariado de forma moderada, especialmente las mariposas, palomillas de seda y esfinges (apéndices 2 y 3 en disco compacto). Los órdenes Coleoptera, Diptera, Hymenoptera y Neuroptera de Sonora, aunque son muy poco conocidos, cuentan con algunos miembros excepcionales en el estado, los cuales se tratan más adelante.

HISTORIA DE LAS ACTIVIDADES ENTOMOLÓGICAS

La Ciudad de México es una de las más grandes del mundo y sin duda el centro académico y cultural más poblado de México. Por consiguiente, la mayoría de las investigaciones de biólogos mexicanos se han concentrado en las áreas del sur-centro, con muy pocas investigaciones en Sonora, 1 260 kilómetros al noroeste. Esto es especialmente válido cuando nos referimos a inventarios de insectos. C.C. Hoffmann y después A.M. Luis, J. Llorente, I.F. Vargas, R.G. de la Maza y M.A. Balcazar trabajaron exclusivamente con el orden Lepidoptera a escala nacional. Las investigaciones en otros órdenes son escasas y una publicación reciente sobre la diversidad de artrópodos terrestres de todo México señala: «todavía existen muchos taxones [...] donde el conocimiento es pobre o nulo» (Morrone y Márquez, 2008). Un estimado por Llorente *et al.* (1996) determina que se necesitan cerca de trescientos taxónomos para estudiar los taxones poco conocidos de México. Es evidente que para México en general y Sonora en particular, nuestro conocimiento sobre la diversidad de los insectos es

muy pobre. Esto representa una verdadera oportunidad para los biólogos y entomólogos, y los autores esperan que el gobierno y la sociedad en general reconozcan la importancia de entender esta biodiversidad.

Empezando en la última mitad del siglo veinte, varios entomólogos, principalmente de Arizona, empezaron a visitar el estado para descubrir la diversidad de insectos de Sonora. Distinguidos entomólogos exploradores de ese tiempo incluyen a M. Toliver, R. Holland y K. Roever, seguidos poco después por J. Palting, R. Bailowitz, S. Prchal, D. Danforth, S. Upson, J. Brock, D. Mullins, M. Wilson, J. Tuttle, M. Lindberg y P. Opler. Durante ese mismo período la aplicación de un estatuto penal muy poco conocido: la ley «Lacey Act», se hizo más estricto. Esta ley fue introducida en la primavera de 1900 por el senador John Lacey y ayuda tanto a Estados Unidos como a los gobiernos extranjeros a reglamentar la posesión y transporte de animales silvestres introducidos a Estados Unidos; el efecto que la Lacey Act tiene en los entomólogos es el limitar las colectas de investigadores de campo de Estados Unidos. En el estado de Sonora, la colecta de insectos ha sido restringida seriamente durante los últimos quince-veinte años debido a esta ley y también por el proceso tan largo, burocrático y caro para obtener permisos de colecta en México. Los registros fotográficos no representan violaciones a la ley Lacey Act y han adquirido mayor importancia en años recientes, pero para algunos grupos de insectos no pueden reemplazar a los ejemplares, ya que es difícil realizar identificaciones a nivel de especie.

MÉTODOS

Los registros de insectos de Sonora pueden ser de dos formas. Antes de 1990, los insectos se colectaban como ejemplares y se depositaban en colecciones públicas o privadas. Más recientemente, los registros son fotográficos, ya sean diapositivas, imágenes impresas o archivos digitales. Las imágenes se han vuelto cada vez más importantes con el rá-

pido desarrollo de la fotografía digital. Actualmente muchos investigadores como J. Brock, D. Danforth y R. Behrstock, entre otros, usan este sistema.

Con respecto a la nomenclatura, para los lepidópteros diurnos seguimos, en gran parte, a Pelham (2008), especialmente en los taxones con distribuciones neárticas. Los nombres de especies más tropicales siguen a Warren *et al.* (2008). La nomenclatura de los lepidópteros nocturnos se basa en Tuttle (2007), Kitching y Cadiou (2000) y Lemaire (2002), así como en una lista sin publicar de las palomillas de Sonora por M.J. Smith (1984-1987). Los nombres del orden Odonata son de acuerdo a Bailowitz, *et al.* (en prensa). En otros taxones de insectos se emplea la mejor nomenclatura disponible a los autores.

ÓRDENES DE INSECTOS

En las siguientes secciones se proporcionan resúmenes de los principales órdenes de insectos en Sonora. Con más detalle se trata los órdenes relativamente mejor conocidos: Lepidoptera (mariposas y palomillas, en parte) y Odonata (libélulas, cigarrillos).

Coleóptera (pinacates, mayates, escarabajos)

La extrema diversidad de este orden, la amplia gama de colores, tamaños y formas y su gran abundancia, sin duda hacen que los coleópteros o escarabajos sean el grupo más fácil pero a la vez el más difícil de estudiar. Generalmente se caracterizan por tener las dos alas anteriores (élitros) endurecidas y sin venas, simulando de este modo más una armadura que alas y protegiendo al cuerpo de la abrasión y sequedad. Los escarabajos emplean una gran variedad de tácticas para engañar a sus enemigos, usando cripsis (camuflaje), alteraciones (reflexión de la luz), mimetismo y coloraciones de advertencia (aposemática). Dependiendo de la estrategia, los escarabajos pueden ser de color café, negro, verde, plateado o dorado, usando coloraciones crípticas o modificadas para impedir que los depredadores los

encuentren. Otros tienen fantásticos tonos naranja, rojo, negro y verde y azul metálico. Estos colores generalmente significan que la especie se defiende con químicos o está imitando a otro animal que es peligroso o tiene sabor desagradable (*v.g.*, avispa o abeja).

La mayoría de los escarabajos son herbívoros o detritívoros, unos cuantos son depredadores y todavía menos son los parásitos de otros insectos. Aunque la mayoría son inofensivos y benéficos, algunos causan daños en cultivos, bosques y productos almacenados como granos (Phillips y Comus, 2000). No son transmisores de enfermedades y rara vez son perjudiciales a los humanos. Se conocen trescientas cincuenta mil o más especies en el mundo (Resh y Cardé, 2003) subdivididas en 166 familias (Burnie y Wilson, 2005). Los escarabajos se pueden encontrar en una gran variedad de hábitats: en agua, debajo de troncos y piedras, en flores, volando o caminando en el suelo. Los exudados de árboles (cuando a un árbol con una lesión le escurre savia) frecuentemente son atractivos a una variedad de escarabajos en Sonora. Muchas especies de escarabajos también se acercan a las lámparas en la noche, los cuales serían muy difíciles de ver de otro modo.

Se desconoce el número total de especies de escarabajos en el estado de Sonora, pero la investigación taxonómica continúa, aunque de manera muy lenta (*v.g.*, Navarrete-Heredia, 2003). Como ejemplo, estudios recientes sobre la diversidad de insectos acuáticos en la sierra El Aguaje al norte de San Carlos (Bogan y Lytle, 2008) dieron como resultado 35 taxones de escarabajos acuáticos en esa cordillera desértica, muestreados en una gran variedad de tinajas, oasis, riachuelos, etcétera. Lo siguiente es una descripción breve de algunos de los coleópteros más sobresalientes de Sonora, organizados por familia.

Bostrichidae

Las palmas nativas de Sonora albergan una gran cantidad de miembros de esta familia y posiblemente una especie sin describir del género *Dinapate*. La mayoría de los miembros de esta familia

son plagas pequeñas (de cinco a diez milímetros) que viven en madera seca, donde la larva perfora agujeros produciendo un polvo característico. Los miembros del género *Dinapate* miden de tres a cinco centímetros cuando son adultos y perforan el tejido vivo de las palmas. El barrenador gigante de las palmas (*Dinapate wrightii*) se conoce de unos cuantos cañones desérticos aislados en California, donde usa las palmas abanico de California (*Washingtonia filifera*) como hospedera. Los *Dinapate* encontrados asociados a palmas como *Brabea nitida* en Sonora son de tamaño similar y de hecho pueden ser *D. wrightii*, aunque se necesitan mayores estudios. Estos escarabajos son de color café oscuro a negro, cilíndricos y tienen la cabeza hacia abajo, debajo de un pronotum como capucha. Las cubiertas de las alas tienen crestas reducidas con un patrón punteado y puntos salientes en la parte posterior.

Buprestidae

Uno de los más grandes escarabajos barrenadores metálicos del mundo, *Euchroma gigantea*, se encuentra desde Sonora hacia el sur en Sudamérica, siempre en las inmediaciones de sus plantas alimenticias, *Bombax* o *Pseudobombax*. Estos escarabajos de ocho centímetros de largo y colores de arco iris son muy llamativos cuando vuelan en la selva baja caducifolia. También se congregan en enjambres de apareamiento cerca de la base del tronco del cuajilote (*Pseudobombax palmeri*). Todo el cuerpo de estos escarabajos es metálico: arriba, abajo, incluso debajo de la cubierta de las alas (élitros). Algunas tribus indígenas de Sudamérica usan los élitros como joyas.

Otro miembro de la familia Buprestidae menos visible, pero precioso, se conoce de los alrededores de Álamos: *Colobaster* sp. aff. *aureoviridis*, de color verde metálico; en ocasiones se ha visto en el pueblo La Aduana, normalmente asociado con higueras (*Ficus* sp.). Este escarabajo vuela y camina nerviosamente entre las ramas de *Ficus*. Su nombre específico y su historia de vida aún están por determinarse, pero éste es otro insecto interesante de Sonora con afinidades tropicales.

Cerambycidae

Los escarabajos de cuernos largos incluyen algunos de los coleópteros más espectaculares del mundo. Cientos de especies ocurren en Sonora y algunas son muy conocidas incluso para los observadores casuales, ya que localmente se les llama «toritos». El precioso *Trachyderes (Dendrobias) mandibularis*, de color anaranjado con negro, le hace honor a este nombre común, toda vez que los machos tienen dos grandes mandíbulas que parecen cuernos de toro. Esta especie típicamente se encuentra en altitudes bajas a medias en todo el estado y la atraen frutos y exudados de árboles. También en frutos y exudados, aunque menos común, se encuentra *Stenaspis verticalis* de color verde y anaranjado metálico.

Donde hay bebelamas y tempisques (*Sideroxylon persimile* y *S. tepicense*), también probablemente se encuentren *Plinthocoelium suaveolens plicatum*, escarabajos brillantes de color verde y rojo metálicos. Estos escarabajos siempre se ven en o cerca de estos árboles durante el verano. Los machos tienen antenas muy largas y las hembras más cortas.

Uno de los «toritos» más grandes y más impresionantes en el estado es *Oropyrodes maculicollis*, que se encuentra en las zonas más altas de Yécora. Estos gigantes escarabajos diurnos, anaranjados, con patas moradas metálicas, vuelan entre los pinos. La fase larval se encuentra en pinos secos y está reportado que era el alimento favorito del pájaro carpintero imperial (*Campephilus imperialis*) actualmente extinto (Brown y Clark, 2005).

Scarabaeidae (Tribu Rutellini)

En las zonas altas de la Sierra Madre Occidental hay varias especies de los «escarabajos joya» del género *Chrysina*. *Chrysina gloriosa* (verde con rayas plateadas metálicas), *C. leonti* (verde y color cobre debajo) y *C. beyeri* (verde claro con patas moradas metálicas) son especies que se encuentran en esta área, así como en las sierras del sureste de Arizona. Especies que no se encuentran en Estados Unidos incluyen *C. adelaida* (verde con patas y rayas café rojizas) y *C. beckeri* (verde claro; los machos tienen el fémur posterior muy agranda-

do). *Chrysina beckeri* ocurre sólo localmente cerca de la frontera con Chihuahua y es más común en las zonas más altas de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua que en Sonora.

Scarabaeidae (Tribu Dynastini)

Las tierras bajas, especialmente a lo largo de los arroyos desérticos, son el hábitat de *Megasoma pachecoi*. Estos grandes «escarabajos elefante», de color café oscuro y cornudos, generalmente se encuentran asociados con palo brea (*Parkinsonia praecox*) en los meses de otoño. Los machos pelean por dominar las ramas de los árboles, usando sus cuernos para tumbarse unos a otros. Otro *Megasoma*, el diminuto *M. punctulatus*, también ocurre en Sonora en altitudes bajas a medias, asociado con mezquite (*Prosopis*). Estos escarabajos están más estrechamente relacionados con el escarabajo elefante (*M. elephas*), mucho más grande, del sur de México y de América Central.

Los cañones con palmas en la esquina sureste más tropical de Sonora son el hábitat de otro escarabajo cornudo espectacular, *Golopha pusillus*. Sus machos tienen dos cuernos, uno más grande que el otro, que usan para empujarse de las ramas. También se sabe que los machos se congregan en un tipo de enjambre de apareamiento llamado lek (M. Wilson, 2008, com. pers.), donde las hembras pueden «escoger» su macho del grupo reunido. Los machos, más grandes, evidentemente mejor alimentados cuando larvas, tienen cuernos más largos y se les llama «machos mayores» y a los machos más pequeños se les conoce como «machos menores». Se presume que el tamaño del escarabajo y su cuerno le da una ventaja durante el proceso lek de selección de pareja. Las localidades específicas para este escarabajo incluyen Choquincahui y Rancho Santa Bárbara al este de Álamos.

Scarabaeidae (Tribu Goliathini)

Existen sólo unos cuantos representantes de esta tribu en América, la que incluye los famosos escarabajos goliath del África tropical. Se sabe que Sonora tiene una especie, el bello *Neoscelis dohrni*, verde oscuro e iridiscente. Esta especie se conoce

en el estado sólo de la esquina en el extremo sureste camino al rancho Santa Bárbara, al noreste de Álamos. Los machos tienen sus miembros anteriores alargados y cubiertos con pelo anaranjado. Se han observado volar sobre las copas de los grandes encinos (*Quercus subspatulata*) en octubre, formando grupos (quizás leks) en las ramas más altas. Machos mayores y menores se encuentran en estos grupos; la variación de tamaño se da en el cuerpo y en el largo de sus miembros anteriores, en vez de los cuernos. Las hembras, también de color verde oscuro metálico, no tienen los exagerados miembros anteriores.

Scarabaeidae (Tribu Gymnetini)

Gymnetis cretacea se encuentra en Sonora y el sureste de Arizona y se relaciona con el «escarabajo de la fruta» (*Cotinus mutabilis*) común y de color verde. Estos atractivos escarabajos blanco y negro típicamente vuelan, durante los meses del verano, sobre las copas de los árboles en los encinares y zonas ribereñas. Las cubiertas de las alas (élitros), a su vez, están cubiertas con finas escamas, con lo que parece que el escarabajo estuviera envuelto en terciopelo. A los adultos les atrae la orina de los roedores que anidan en los árboles, principalmente ardillas (*Sciurus* sp.) y ratas de campo (*Neotoma* sp.), por lo que las hembras activamente buscan sus nidos, por lo común dentro de los brazos huecos y muertos, para ovipositar. Las larvas de los escarabajos posteriormente se alimentan de la vegetación en descomposición y heces fecales en el nido, al mismo tiempo que son protegidas del exterior.

Dictyoptera (cucarachas, termitas y campamochas)

El orden Dictyoptera incluye tres grupos de insectos: las cucarachas (Blatteria), las termitas (Isoptera) y las campamochas (Mantodea). Estos grupos algunas veces se consideran órdenes por sí mismos, pero la evidencia fósil junto con datos ecológicos y moleculares muestran que están estrechamente relacionados con una cucaracha de la madera como ancestro común (*Cryptocercus*; Lo *et al.*, 2000). Bla-

terria se divide en seis familias (cuatro mil especies en el mundo), Isoptera en ocho familias (dos mil seiscientas especies) y Mantodea en por lo menos nueve familias (dos mil especies). Aunque Blatteria e Isoptera se consideran como insectos plaga, sólo unas cuantas especies impactan negativamente a los humanos y la mayoría de las especies nativas son carroñeras benéficas. En el orden Mantodea todos son depredadores de otros insectos y presas pequeñas y generalmente se consideran benéficos. Este grupo de organismos grande y diverso es prácticamente desconocido en Sonora y se espera que sea inventariado por las generaciones de futuros biólogos. Unos cuantos miembros de Blatteria mencionados más adelante han llamado la atención de los autores y son indicadores de la interesante biodiversidad que esperamos que sea descubierta en Sonora.

Por lo menos dos especies de cucarachas tropicales han sido registradas de Arroyo Verde cerca del rancho Santa Bárbara. Este cañón, conocido por ser el límite septentrional de árboles tropicales, tiene por lo menos una especie diurna de cucaracha que mimetiza a una avispa (*Pseudophyllodromia* sp.) que revolotea sobre arbustos de hoja ancha del sotobosque, aterrizando en la superficie superior de las hojas y agitando sus antenas unidas de manera semejante a una avispa. Una cucaracha verde brillante, posiblemente una especie de *Panchlora*, también está activa durante el día en la misma área. Estas dos especies claramente tienen afinidades neotropicales y merecen investigación más detallada.

Otra cucaracha fascinante de Sonora habita entre las espinosas hojas del sotol (*Dasyllirion* spp.), obviamente para protegerse. Identificada por lo pronto como *Nyctibora* sp., esta cucaracha negra incapaz de volar es muy difícil de atrapar, ya que cuando se le perturba inmediatamente se esconde más adentro entre el espinoso sotol. Estas cucarachas están muy alertas y activas durante el día, a pesar de su color. Otra cucaracha neotropical (*N. acacia*) de Costa Rica está asociada a las hormigas de las acacias que viven en las espinas de las plantas y depende de la protección que le brindan las hormigas. Esta cucaracha también pega su ootheca (sacos de huevos) a la acacia, claramente también por

la protección que proporcionan las hormigas inquilinas (Deans y Roth, 2003).

Diptera (moscas)

Uno de los órdenes con más especies, Diptera, es conocido de todos y, en muchos casos, visto en forma negativa. Algunas moscas son dañinas a los cultivos y otras transmiten enfermedades, sobre todo en climas cálidos. Las moscas de varias familias pueden picar a los animales (incluyendo ganado y humanos) e incluso requieren alimentarse de animales de sangre caliente para el desarrollo apropiado de sus huevos. La mayoría de las moscas son pequeñas, pero sus ojos compuestos son relativamente grandes. La función y forma de sus piezas bucales varía ampliamente de una familia a otra, incluyendo las estructuras especializadas para chupar, lamer, cortar, penetrar, raspar, etcétera. Algunas moscas son benéficas como parásitos o depredadores de insectos dañinos o contribuyen a la biodegradación de suelos y detritos, otras polinizan las flores y más o menos todas son una fuente de alimento para los pájaros, reptiles, anfibios, etcétera. Las fases de vida de algunas especies que se alimentan de carroña son útiles en estudios forenses. Como lo indica el nombre, una característica importante de todas las moscas es la sustitución de las alas posteriores por estructuras llamadas halteres, que funcionan más como balancines que como alas, por lo que dan la apariencia de que estos insectos tienen dos alas en vez de cuatro.

Con más de ciento veinte mil especies descritas mundialmente, el orden Diptera se ha dividido en aproximadamente ciento treinta familias; más de cinco mil especies se supone que ocurren en Sonora. A la fecha se han realizado muy pocos estudios exhaustivos de las moscas de Sonora. Un trabajo reciente en la sierra El Aguaje al norte de San Carlos (Bogan y Lytle, 2008) resultó en 45 especies de moscas acuáticas en los oasis de esa cordillera desértica. En las inmediaciones del rancho Santa Bárbara al sureste de Álamos, un inventario general de los dípteros con énfasis en las moscas estilete (Therevidae) está siendo encabezado por Mi-

chael Irwin, investigador asociado del Arizona-Sonora Desert Museum en Tucson, Arizona. Aparte de estos estudios, los autores no tienen conocimiento de otras investigaciones importantes realizándose sobre Diptera de Sonora.

Un registro de Diptera que vale la pena mencionar es la mosca gigante en el género *Pantophthalmus* del este de Yécora. Una hembra de cerca de cincuenta milímetros de largo fue capturada en julio mientras volaba lentamente sobre el suelo en el bosque de pino-encino en el día. Este pequeño grupo de moscas se limita a la zona neotropical, con 22 especies registradas en América Central y América del Sur. La especie *P. roseni* se considera una plaga del encino roble o rojo (*Quercus germana*) en Tamaulipas y se le conoce como «barreno de los encinos» (Sánchez-Ramos *et al.*, 2006). Antes del registro de Yécora, Tamaulipas era la parte más al norte donde un miembro de este género había sido reportado. Las moscas evidentemente ponen sus huevos en árboles vivos donde la larva excava galerías profundas en la madera, alimentándose del xilema. Los encinos están reportados como la planta alimenticia favorita de estas moscas, de modo que puede asumirse que los encinos están siendo utilizados por la especie sonorensis aún sin identificar.

Hemiptera (chinchas verdaderas)

Éste es un orden muy diverso con cerca de treinta mil especies, tanto terrestres como acuáticas y con una distribución mundial (Arnett y Jacques, 1981). El orden Hemiptera contiene principalmente insectos pequeños, algunos de ellos fitófagos (que se alimentan de plantas) y otros depredadores. La mitad de sus alas anteriores está endurecida y sin membranas, de donde proviene el nombre del orden. Todos los hemípteros, o chinchas verdaderas, tienen un aparato bucal en forma de pico en la parte ventral del cuerpo que es utilizado para succionar. Unos pocos son chupadores de sangre, entre los que se incluyen las chinchas de cama y especialmente la chinche triatominae en la familia Reduviidae (Ebeling, 1978). Los reduviidos son los vectores de la enfermedad de Chagas, un padecimiento de las

regiones tropicales que llega a Sonora. Alrededor de ocho o más especies de este tipo de chinches –el género *Triatoma* y sus parientes– se han registrado en Sonora. Estos incluyen *Dipetalogaster maxima*, *Triatoma recurva*, *T. incrassata*, *T. longipennis*, *T. protracta*, *T. sanguisuga*, *T. sinaloensis* y *T. rubida* subsp. *sonoriana*. Todos ellos son vectores competentes de Chagas, excepto *T. rubida*, que no defeca mientras se alimenta, por lo que no transmite el protozoo causante de la enfermedad al sitio de la picada (Cruz-Reyes y Pickering-López, 2006).

Varios grupos de hemípteros han adoptado estilos de vida acuáticos y dos estudios recientes de estos taxones acuáticos se han realizado en Sonora. El primero, en las cordilleras montañosas áridas al norte de San Carlos (Bogan y Lytle, 2008), resultó en 25 especies en diez familias. El segundo, examinando las chinches acuáticas de cuerpos de agua en movimiento de casi todo el estado (Bogan, 2008, com. pers.), reveló 44 especies en doce familias, de las cuales la familia Notonectidae es la que contiene más especies.

Indudablemente Sonora tiene una gran diversidad de especies terrestres de Hemiptera que esperan ser identificadas, pero aún no se emprende un inventario completo de este grupo. Una familia, la de las chinches apestosas (Pentatomidae), secreta un mal olor cuando se les molesta, aparte de eso son inofensivas. Una especie llamativa conocida por los autores es una chinche apestosa grande y colorida que se encuentra asociada con varias especies de *Randia* (Rubiaceae). La distribución de esta chinche, *Pharypia pulchella*, se extiende hacia el sur hasta América Central. Los adultos destacan por sus colores anaranjado y negro brillantes y miden aproximadamente 2.4 centímetros de largo. Es el representante más al norte de este género tropical y tiene una amplia distribución en los hábitats de selva baja caducifolia (SBC) en el estado, siempre asociada con su planta alimenticia *Randia*, de la cual hay siete especies en Sonora.

Homoptera (chicharras, chicharritas y otros)

Los homópteros, o chicharras y sus parientes, al-

gunas veces se consideran un subgrupo de Hemiptera. Están formados por la agrupación general de cuarenta mil a cincuenta mil especies de todo el mundo, separados en numerosas familias. Los miembros típicos de este orden son conocidos por los observadores casuales como chicharras, áfidos, psílidos, moscas blancas, escamas, etcétera; algunos son dañinos a los cultivos. El orden en Sonora es poco conocido, pero hay dos especies de interés y se presentan a continuación.

Las inmediaciones del rancho Santa Bárbara son el hábitat de un miembro llamativo de este orden, en la familia Fulgoridae. *Cerogenes auricoma* es conocido en Sonora sólo de esta área, pero su rango se extiende hasta América del Sur. Estos insectos viven en el dosel de los árboles donde succionan savia con sus piezas bucales en forma de popote. La característica más notable de *Cerogenes* son las largas colas blancas, las que de hecho están hechas de secreciones de cera producidas mientras se alimenta. Estos apéndices secretados, evidentemente asustan o confunden a los pájaros y otros depredadores y se pueden cortar sin dañar al insecto. El cuerpo sin las colas mide 25-40 milímetros; las alas son azul cobrizo, el tórax amarillo-naranja brillante y los ojos de color rojo vivo. *Cerogenes* es un pariente cercano de la famosa «machaca», «mariposa caimán» (*Fulgora laternaria*), que también secreta colas de cera. Aún no se conoce la planta alimenticia de *Cerogenes* en Sonora, pero los adultos son atraídos a las lámparas de vapor de mercurio.

Otro miembro de Homoptera llama la atención debido a que se aglutina en grandes masas en su planta alimenticia. Los Margaroiidae, también conocidos como cóccidos gigantes, son un tipo de insecto escama relacionado con la mejor conocida cochinita de *Opuntia*. La especie sonorensis aún no se ha identificado y se encontró en masas en las inmediaciones de Álamos, pegadas a los troncos de papelío (*Jatropha cordata*). Estos insectos miden cerca de dos centímetros y están cubiertos con un polvo blanco, pero cuando llueve el polvo se lava y revela el integumento rojo brillante del insecto. Nunca se pensaría que las brillantes «bayas» rojas o blancas y oblongas en los troncos de *Jatro-*

phas fueran insectos, pero cuando se examinan de cerca, tienen seis patitas debajo. La planta alimenticia, así como el color rojo brillante, sugiere que estos insectos son desagradables a los pájaros y otros depredadores. Grupos de cientos de insectos en varias fases de desarrollo se han observado en papelío a finales del otoño.

Hymenoptera (hormigas, abejas, avispas)

Las hormigas, abejas y avispas componen el orden Hymenoptera. Estos insectos son al mismo tiempo desconocidos y familiares, temidos y necesarios. La abeja europea introducida (*Apis mellifera*), actualmente casi reemplazada en Sonora por la subespecie africanizada, es invaluable para los agricultores y los productores mundiales de alimentos tanto por ser una fuente de miel como por ser un polinizador de cultivos. La sociabilidad de las abejas y muchas otras especies de himenópteros es un fenómeno común. El cuidado de las crías y el sistema de castas prevalecen en estos himenópteros sociales. Las abejas no sociales representan aproximadamente 95% de estas especies (Ebeling, 1978).

Cerca de doscientas mil especies de himenópteros, divididos en más de noventa familias, ocurren en todo el mundo (Burnie y Wilson, 2005). Algunas especies son parásitas, otras depredadoras y muchas son polinizadoras. Las hembras de muchas especies son capaces de picar y tienen un veneno sorpresivamente potente para criaturas tan pequeñas. Las comadritas u ollitas (Mutillidae) y el caballito del diablo (Pompilidae) son notables por sus potentes picadas. Las hormigas verdaderas (Formicidae), con una gran diversidad de especies en Sonora, tienen la capacidad de picar y aguijonear. Muchas especies prefieren la vida en colonias y tienen un complicado sistema de generaciones y castas que se traslapan en la misma colonia.

Recientemente se realizó un estudio sobre las abejas del Valle de San Bernardino en el extremo noreste de Sonora y el área adyacente de Arizona. Esta área fue escogida debido a la yuxtaposición de biomas xéricos y méxicos en una distancia corta. Se estudió la diversidad de esta fauna de abejas

(Minckley, 2008) y se hicieron comparaciones dentro del mismo valle y entre el valle y un sitio méxico de tamaño comparable de la región norcentral de Estados Unidos. Se analizaron los grupos de abejas sociales y asociales y se examinaron las especies de vida larga contra las de vida corta, así como las especies colectoras de polen y las no colectoras. Se encontraron un total de 383 especies en 69 géneros en el sitio Sonora-Arizona con cuatro taxones adicionales sin describir. A pesar de problemas de identificación en algunos de los géneros más diversos y difíciles, la alta diversidad del pequeño valle sonorense excede en gran medida la comunidad más méxica del este de Estados Unidos. Se piensa que el factor responsable de esta diversidad de especies es el régimen bimodal de lluvias de Sonora. La variedad de tamaños, formas y colores de las flores aumenta con las estaciones pluviales separadas y esta diversidad floral requiere de diferentes medios de acceso y, por lo tanto, de una mayor riqueza de especies de abejas para polinizar estas flores.

Algunas de las especies de abejas más notables de Sonora conocidas hasta ahora son las bellas abejas de las orquídeas, de color azul verde metálico (Apidae: Euglossini). La especie descrita recientemente, *Eufriesia micheneri*, es azul iridiscente con cara verde brillante. Se encuentra en todo el norte de la Sierra Madre y parece ser la abeja de las orquídeas más numerosa y con más amplia distribución en Sonora. *Euglossa viridissima*, de un color verde metálico uniforme, y *Exaerete azteca*, una azul metálico, clepto-parásito de otras abejas de las orquídeas, están presentes en el estado, así como la negra aterciopelada con anaranjado *Eulaema polychroma*.

Algunas de las avispas sociales más notables presentes en el estado incluye el bitachi más grande del mundo, *Polistes carnifax*. Estas avispas, generalmente amarillas, miden tres centímetros de largo, construyen un nido clásico de células de papel colgado de un pedicelo en un lugar protegido como un refugio rocoso. Conocidos por ser muy bravos, *Polistes instabilis* hacen un nido de células de papel inclinado hacia abajo desde la punta de un pedicelo (en vez del diseño de sombrilla invertido de la ma-

yoría de *Polistes*). *Polistes instabilis* generalmente construye sus nidos en arbustos de la SBC y frecuentemente a nivel de los ojos, lo que da por resultado encuentros incómodos entre los bitachis enojados y gente que camina por el monte. Las imponentes fortalezas de papel de otra avispa, *Polybia occidentalis*, son bien conocidas en la parte sur de la entidad, donde se encuentran tanto en árboles como en acantilados. Estas avispas construyen una concha de papel sobre los nidos, los que por lo general son del tamaño de una pelota de básquetbol, algunas veces redondas, pero con frecuencia estrecha y alargada cuando está construida en refugios rocosos. Los nidos construidos en refugios rocosos protegidos pueden durar años, incluso después de que han sido abandonados

La diversidad de hormigas en Sonora es notable y un estudio por Bestelmeyer y Schooley (1999) documentó 39 especies en 21 géneros en tan sólo un área de estudio en el centro de Sonora, en las inmediaciones de La Colorada. Los autores hacen notar que la diversidad total de especies para el área se estima entre 47 y 49 especies, «una diversidad de especies mucho mayor que la reportada para otros hábitats de zonas áridas en América del Norte».

Un registro de hormiga interesante de Sonora es *Pachycondyla villosa*, una neoponera grande tropical (alrededores de Álamos). Se sabe que esta especie ocurre desde el extremo sur de Texas hasta Argentina. Es una especie que anida en cavidades, por lo general en madera seca y huecos de plantas, las cuales defienden agresivamente si se les molesta. Una característica poco común de las colonias de *Pachycondyla* es que con frecuencia tienen dos reinas, una alfa y otra beta (Trunzer *et al.*, 1998). La casta centinela, la que busca el alimento, está compuesta de individuos feroces, depredadores arbóreos, que patrullan los árboles y capturan cualquier presa pequeña que puedan someter. Los negros centinelas miden cerca de dos centímetros de largo y pueden causar una picada dolorosa si se les molesta.

Entre las hormigas más conocidas de Sonora están los mochomos (*Atta mexicana*). Columnas de hormigas obreras y soldados salen de los hormigueros en busca de vegetación. Los trozos de hojas los

llevan al hormiguero para nutrir los jardines de hongos de los que estas hormigas se alimentan. Conforme las hojas son consumidas por los hongos, éstas se llevan a la superficie y se acumulan en montones de desecho. Estos basureros sirven a su vez como refugio para una gran variedad de insectos y vertebrados. Un coleóptero degradador (*Ptichopus angulatus*) vive y cría su larva en estos desechos. De manera interesante, un hongo (*Trichomyces*) en el intestino de los adultos y las larvas ayuda a digerir la celulosa de su dieta (Lictwardt, 1986). Estos escarabajos también se comunican entre sí y con las larvas por medio de una serie de chillidos audibles. Cuando un grupo de adultos y larvas son amenazados (como cuando se destruyen los basureros), el «chillido» combinado de los insectos puede ser muy desconcertante. La culebra aceitosa de anillos blanco y negro (*Sympholis lippiens*) es un depredador de las larvas de estos passalidos y depende de su piel aceitosa para alejar a las hormigas (Van De venter y Lawler, 1996). Al iniciar la estación de lluvias, los hormigueros de *Atta* explotan con reproductivos alados, machos y reinas futuras, las que se dispersan y se aparean. Después de aparearse, las reinas tiran sus alas y empiezan una colonia nueva, inoculándola con una bolita de hongo que llevaron debajo de la cabeza desde la colonia madre. El tamaño de las hormigas aladas combinado con su abundancia, hace que estos vuelos nupciales sean muy llamativos.

Lepidoptera (mariposas y palomillas)

El orden Lepidoptera consta de dos subórdenes: Rhopalocera (mariposas, cerca de dieciséis mil especies) y Heterocera (palomillas, más de ciento cincuenta mil especies) y sin duda se encuentra entre los grupos más familiares de insectos del mundo. Prácticamente todos los miembros de este orden son terrestres y fitófagos, a diferencia de Odonata, el otro orden de insectos en el estado para el cual se proporciona un listado casi completo. Por estas razones, su ubicación en el superorden Endopterygota, pero especialmente debido a su accesibilidad y familiaridad, se exponen en este capítulo. El su-

borden completo de mariposas y las dos familias mejor conocidas de palomillas –Sphingidae (esfin-ges) y Saturniidae (palomillas de seda)– se tratan a continuación.

Mariposas

Debido a que todas las mariposas se alimentan de plantas en su estado larval y comúnmente los adultos viven del néctar, están muy vinculadas a la vida vegetal de una región. La flora de Sonora varía en gran medida con la precipitación, temperatura, altitud, sustrato geológico, y otros factores abióticos, y la diversidad de mariposas se rige estrechamente por la complejidad del microhábitat. Como resultado del regimen bimodal de lluvias, las plantas florecen durante el monzón de verano a mitad del año y durante y después de las lluvias de invierno. Secuencias de generaciones nuevas de mariposas son programadas para aprovechar tanto la temporada de brotación como la de floración, de tal modo que la oviposición puede lograrse cuando las hojas están tiernas y los adultos también puedan alimentarse de las flores mientras dura la floración.

Los veranos con precipitación pluvial por arriba de lo normal o con totales de lluvia considerables, en áreas que generalmente no reciben tanta lluvia, causa la expansión temporal de rangos de distribución tanto en Sonora como en el suroeste de Estados Unidos. Las estaciones subsecuentes con patrones más secos de lo normal y menos floración contraen estos rangos. Las poblaciones de mariposas responden a los cambios de la brotación de las plantas. Este fenómeno de expansión y contracción de los rangos de las mariposas es evidente de manera extrema en Sonora, debido, sobre todo, a la yuxtaposición estrecha de los climas secos y húmedos, períodos fríos y cálidos, la gran variación topográfica y la estupenda capacidad de vuelo de las mariposas.

La investigación formal sobre los lepidópteros de México empezó por lo menos hace medio siglo con investigadores como C.C. Hoffmann, L. Vázquez, H. Pérez, C. Beutelspacher, R. de la Maza y J. de la Maza, y continuó en las décadas siguientes con entomólogos como J. Llorente, A. Luis, I. Vargas y H.A. Freeman.

La investigación sobre las mariposas de Sonora empezó formalmente alrededor de 1980. Con menos de treinta años de documentación intensiva, el total de especies de Sonora ha superado a las de Arizona, justo al norte en Estados Unidos. Los datos más recientes contienen 331 especies para Arizona (Bailowitz y Brodtkin, 2007) y una lista vigente basada en datos de J. Brock *et al.* cita 338 especies de Sonora (2008, com. pers.) (apéndice 2 en disco compacto). Siete familias de mariposas se encuentran en Sonora (tabla 1): hespéridos (Hesperiidae), colas de golondrina (Papilionidae), azufradas y blancas (Pieridae), licénidos (Lycaenidae), riódinidos (Riodinidae), hocico (Libytheidae) y patas cepillo (Nymphalidae).

Tabla 1. Riqueza de especies de las familias de mariposas en Sonora

Familia	Total de especies
Hesperiidae	143
Nymphalidae	77
Lycaenidae	51
Pieridae	31
Riodinidae	26
Papilionidae	9
Libytheidae	1
Total	338

Con trabajo de campo adicional se espera que el número total de especies de mariposas en Sonora alcance 360 o más. Una docena de especies con fuertes afinidades neárticas ocurren en Arizona al norte de la frontera con Sonora y aún no se han registrado en el estado. Las áreas cerca de la frontera este con Chihuahua tienen una gran diversidad de especies y deberán producir de cinco a diez especies adicionales con nexos con las sierras del este o la Sierra Madre. Además, al aprovechar las secuelas de los huracanes, los inviernos lluviosos esporádicos y los períodos del año con una diversidad de especies menor, pero quizás mayor especialización, los municipios del sur del estado con conexiones tropicales y subtropicales más fuertes deberán agregar otras diez especies al total de la entidad. De las 338 especies actualmente conocidas de Sonora, 111 (32.8%) son desconocidas en Arizona y de hecho

setenta (20.7%) no están registradas en Estados Unidos.

Límites meridionales

Los límites sureños de la mayoría de especies con afinidades con las Montañas Rocallosas terminan cerca del Mogollón Rim, una gran cuesta escarpada que cruza el centro de Arizona hacia el sureste, llegando hasta el oeste-centro de Nuevo México. En menor cantidad, partes de este hábitat de montaña se extienden hacia el sur por las Animas Mountains de Nuevo México y las Chiricahua Mountains del sureste de Arizona. Unas cuantas especies del norte con distribución irregular al sur en la Sierra Madre Occidental tienen poblaciones en el extremo este de Sonora, *v.g.*, *Cercyonis meadii*, *Hypaurotis crysalus*, *Plebejus melissa*, etcétera. Otras especies del oeste de Estados Unidos sin duda se extienden hasta el norte de Sonora, pero no han sido registradas debido a la naturaleza improductiva de sus hábitats. *Papilio rutulus* y *Phyciodes mylitta* son especies de elevaciones altas en las Montañas Chiricahua o Huachuca pero no han sido reportadas de Sonora donde bien pueden ocurrir, *v.g.*, en la sierra de Los Ajos. *Notamblyscirtes simius*, *Hesperia uncas*, *Euphilotes rita* y *Poladryas arachne* ocurren en pastizal en el Valle de San Rafael de los condados de Santa Cruz y de Cochise en Arizona y todas deben de presentarse en los pastizales adyacentes al sur de la frontera. *Phaeostrymon alceste* se alimenta de las flores de chirrión (*Sapindus drummondii*) cerca de Nogales, Arizona y debe encontrarse en estos árboles en el norte de Sonora.

Límites occidentales

Debido a la orientación noroeste-sureste de Sonora, especialmente el relieve escarpado de la Sierra Madre en Sonora, varias de las especies que alcanzan sus límites más al norte también alcanzan sus límites más occidentales en el estado. Algunas especies con distribución principalmente en el este de México y el extremo sur de Texas con frecuencia llegan hasta el centro de Sonora, *v.g.*, *Achalarus toxeus* cerca de Hermosillo. El ejemplar solitario de *Poanes zabulon* conocido del estado y encontra-

do en las barrancas al oeste de Yécora representa la localidad más occidental de esta especie del este. *Apodemia phyciodoides* tiene una distribución limitada en las montañas que cruzan la frontera Sonora-Chihuahua de Yécora hacia el norte y alcanza sus límites de distribución más occidental y más al sur en Sonora. Sus límites actuales más al norte están justo al cruzar la línea fronteriza en el extremo noroeste de Chihuahua, unas cuantas millas al sur de la frontera con Nuevo México (un registro de 1920 del sureste de Arizona posiblemente tenía datos erróneos). Con muestreos adicionales en la sierra, se anticipa que se encontrarán otras especies que siguen los puertos bajos de las sierras de Chihuahua a Sonora de Yécora al norte. Otra especie interesante, *Apodemia multiplaga*, ocurre en Sonora sólo en las dunas de arena cerca de Guaymas. Se encuentra en hábitats similares a lo largo de las playas de la costa oriental de México, pero alcanza sus límites más occidentales en Sonora.

Límites orientales

Varias especies de mariposas de Sonora tienen distribución costera y sus rangos principales están en Baja California. Tanto *Panoquina errans* como *Polites norae* son especies de aguas salobres y comunidades de marismas con zacates y alcanzan sus límites orientales en las playas de Sonora.

Límites septentrionales

Más de ochenta especies de mariposas de Sonora alcanzan sus límites más al norte en el estado. Estas especies se pueden dividir en tres categorías generales. Cerca de veinte especies se extienden hacia el norte en las planicies costeras y el piedemonte de los municipios más al sur. Estas áreas incluyen Güirocoba, la sierra de Álamos, Álamos, Navjoa, Tesia, Mocúzari y el camino a Las Chinacas. Ejemplos de estas especies son *Emesis mandana*, *Rekoa palegon*, *Calycopis isobea*, *Anartia fatima*, *Quinta cannae* y *Codatractus uvydixa*. Cerca de treinta especies son más de montaña y se extienden hacia el norte en la Sierra Madre Occidental hasta cerca de Yécora en la parte este-centro de Sonora. Localidades en estas inmediaciones incluyen varios sitios

altos a lo largo de o accesibles desde la Carretera Federal México 16 (Mex 16), como Tepoca, Mesa Grande y Maycoba, con extensiones al sur hasta Tesopaco y al norte hasta Sahuaripa. Aunque muchas de estas especies se reproducen una vez al año y vuelan durante el monzón del verano (v.g., *Staphylus vincula*, *Piruna sina*, *Dalla faula*, *Chlosyne marina*, *Callophrys dospassosi* y *Ministrymon phrutus*), muchas se reproducen varias veces en respuesta tanto a las lluvias de invierno como a las del monzón del verano (v.g., *Apodemia phyciodoides*, *Dynamine postverta*, *Anthanassa sitaces*, *Manataria hercyna* y *Phocides urania*). Los límites al norte de otras treinta especies coinciden con el límite norte de los hábitats de matorral espinoso cerca de Bavispe, Ímuris y Nacozari de García. Algunas de estas especies son relativamente inmóviles y raras veces se alejan de sus plantas alimenticias de su estado larval, v.g., *Agathymus fieldi*, *Hesperocharis costaricensis*, *Adelotypa eudocia*, *Anartia jatrophae*, *Opsiphanes blythekitzmilleri* y *Cyllopsis windi*. Varias de estas especies evitan los valles de ríos importantes debido a las heladas de invierno. Otros taxones son propensos a movimientos ocasionales y en raras ocasiones se han reportado como perdidas en Arizona; v.g., *Chiomara mithrax*, *Doxocopa laure*, *Chlosyne eumeda*, *Asterocampa idylla*, *Hamadryas glauconome* y *Myscelia cyananthe*.

Endemismo

Aunque la información actual sugiere cerca de media docena de especies de mariposas como endémicas de Sonora, debe señalarse que el endemismo algunas veces es una situación temporal. Conforme se identifiquen las plantas alimenticias de las larvas de especies nuevas, se localizarán poblaciones adicionales fuera de Sonora. Los siguientes taxones se conocen únicamente del estado.

De *Volturnia danforthi* se conocen dos poblaciones entre San Javier y Tepoca en el centro de Sonora y menos de diez individuos. *Euptychia rubrofasciata* es una especie de altitud media asociada con *Selaginella* sp.; se ha reportado únicamente de la región entre la presa El Novillo y Yécora, pero se espera que ocurra en la parte adyacente de Chihuahua. *Euchloe guaymasensis* es una especie de finales

del invierno del desierto caliente costero, desde el norte de Guaymas hasta el Arroyo Santo Domingo e Ímuris (¡con un registro solitario de Bisbee, Arizona!). Cuatro taxones adicionales aún no se describen y hasta ahora se conocen sólo del estado. Tres de ellas son Hesperiidae: dos especies de *Piruna* y una especie de *Paratrytone*, y la otra es una especie de *Calephelis* en la Riodinidae. También miembros de los hespéridos en el género *Agathymus* utilizan el género *Agave* como hospedero de larvas. Por lo menos trece especies de *Agathymus* de México aún no se describen (Luis *et al.*, 2003) y por lo menos nueve taxones de *Agave* son endémicos a Sonora (Van Devender *et al.*, en este vol.). Debido a lo complicado de la sistemática de este género de mariposas, la resolución taxonómica y más investigación de campo probablemente darán como resultado endémicas adicionales de *Agathymus* en Sonora.

Palomillas

Al igual que las mariposas, sus parientes cercanos, la distribución de palomillas se asocia estrechamente con la distribución de las plantas alimenticias de sus larvas y plantas diferentes se encuentran en diferentes hábitats, suelos y elevaciones. Así, hay palomillas asociadas con el matorral desértico, la selva baja caducifolia, encinares de elevación media, bosques de pino de elevaciones altas, etcétera. En Sonora, estas regiones con plantas y animales específicos a menudo se traslapan, lo que resulta en una fauna diversa de palomillas en cualquier lugar.

A diferencia de las mariposas, una gran mayoría de palomillas son nocturnas (excepto unas cuantas diurnas en varias familias). Debido a su estilo de vida nocturno, los colores de las palomillas frecuentemente son más opacos que los de las mariposas (que dependen mucho de la visión), mientras que los aparatos para detectar químicos como feromonas son complicados. Mientras todas las mariposas presentan antenas filamentosas que terminan en forma de maza, las palomillas tienen antenas de formas muy variadas, desde filamentos a peines de plumas diseñados para detectar unas cuantas moléculas de feromonas que les permiten encontrar a sus parejas en la oscuridad.

Las palomillas son más numerosas que las mariposas, generalmente de cinco a diez veces más especies de palomillas en cualquier región. El suborden de palomillas, Heterocera, incluye cerca de 22 familias (comparado con las siete familias de mariposas). Las palomillas más comunes son las de seda (Saturniidae) y las esfinges (Sphingidae). Otros órdenes familiares son las palomillas tigre (Arctiidae), las palomillas del gusano medidor o geometrino (Geometridae) y las palomillas del gusano cortador (Noctuidae). Muchas especies de estas familias se ha estudiado ampliamente en el estado adyacente de Arizona, con los resultados siguientes: Noctuidae es la familia más diversa (800 taxones), seguida por Geometridae (430 taxones), Arctiidae (104 taxones), Sphingidae (45 taxones) y Saturniidae (27 taxones) (B. Walsh, 2008). Los miembros de las 17 familias restantes de Heterocera son numerosos, pero no se conocen tan bien como las familias de arriba. Con tal diversidad, muchas especies de palomillas aún no se describen de forma científica, especialmente en estas familias, entre las que se incluye los microlepidóteros.

La fauna Heterocera de Sonora se conoce muy poco, sin un inventario amplio de especies, excepto por los dos grupos con los miembros más grandes y llamativos: Saturniidae y Sphingidae. Debido a su tamaño y colores, estos dos grupos llaman la atención y se cuenta con información disponible bastante completa sobre su distribución e historia de vida. La lista de la fauna saturniida de Sonora contiene 43 especies, mientras que hay por lo menos 61 esfinges. Los biólogos siguen encontrando registros nuevos para Sonora conforme se investigan áreas nuevas y se espera que la fauna saturniida alcance por lo menos cincuenta especies, mientras las esfinges probablemente superarán los 75 taxones. Estas cantidades relativas también reflejan la biología de estas palomillas, ya que las saturniidas típicamente son de vida corta y rara vez se encuentran lejos de las plantas alimenticias de sus larvas, mientras que las esfinges son voladoras activas y son conocidas por alejarse cientos de millas desde su punto de origen. En Sphingidae se espera que más especies tropicales de más al sur probable-

mente se registren en Sonora, incluso si no se reproducen en el estado. Ése ha sido el caso de Florida, donde se han documentado los únicos registros para Estados Unidos de algunas especies de esfinges muy tropicales (Tuttle, 2007).

Límites meridionales

Algunos saturniidos y esfinges muy conocidos en Estados Unidos alcanzan sus límites de distribución más al sur en Sonora a lo largo de la Sierra Madre Occidental. Para Saturniidae, éstos incluyen miembros del complejo *Hyalophora columbia*, *Hemileuca tricolor* y *Hemileuca hualapai*, todos ellos con una distribución más amplia en el occidente de Estados Unidos. Las especies de esfinges que están en su límite sur incluyen *Eumorphia achemon*, *Sphinx asellus*, *Smerinthus cerisyi*, *S. saliceti*, *Poanias myops* y *Hemaris diffinis*; todos éstos tienen una distribución muy amplia en Estados Unidos, pero no se extienden más al sur de Sonora. Endémicas del suroeste de Estados Unidos cuyos rangos al sur se extienden hasta Sonora incluyen *Sphinx libocedrus* y *Sphinx dollii*. Otras especies que se sospecha que alcanzan su límite sur en Sonora son *Proserpinus juanita* y *P. vega*.

Límites occidentales

Un grupo de especies características del sureste de Estados Unidos alcanza sus límites occidentales en Sonora, pero no ocurre en el occidente de Estados Unidos. Se especula que esto se debe en gran medida a la aridez general del suroeste de Estados Unidos comparado con Sonora, ya que la mayoría de estas especies están asociadas con plantas que requieren humedad regularmente. *Automeris io* es un saturniido con amplia distribución en el este de Estados Unidos y no ocurre más al oeste del piedemonte de las Montañas Rocallosas, pero descien- de hasta Sonora donde alcanza su límite occidental en los alrededores de Álamos. *Rothschildia orizaba*, un saturniido con amplia distribución en México, se asocia en el norte con la Sierra Madre Oriental y las regiones más húmedas de la Sierra Madre Occidental de Chihuahua. Tiene una distribución limitada en Texas y alcanza el límite oc-

cidental de su rango en Sonora cerca de Yécora. Las esfinges que muestran el mismo patrón de distribución del sureste de Estados Unidos a Sonora son *Cautethia spuria* y *Xylophanes tersa*.

Límites orientales

Unas cuantas especies de la parte occidental del desierto y norte de Baja California alcanzan su límite oriental de distribución en Sonora. Para saturniidos, varias palomillas de las ciénegas en el género *Hemileuca*, especialmente *H. junio* y *H. tricolor*, no extienden su rango oriental más allá del occidente árido de Sonora. La esfinge de principios de la primavera, *Euproserpinus phaeton*, tiene un rango desde los desiertos de California al oeste de Sonora pero no más allá (Brown y Donahue, 1989).

Límites septentrionales

En la zona de transición, donde los biomas templados del norte se encuentran con los tropicales de América, Sonora tiene muchos registros interesantes de límites norte. La mayoría de estas especies tienen rangos de distribución que se extienden hasta América Central. Saturniidos tropicales que alcanzan sus límites norte en Sonora incluyen: *Anisota assimilis*, *Antheraea montezuma*, *Automeris boudinotiana*, *A. colenon*, *A. metzli*, *Caio richardsoni*, *Citheronia beledonon*, *Copaxa lavendera*, *C. muellerana*, *C. rufa*, *Dysdaemonia boreas*, *Hylesia* aff. *acuta*, *H. peigleri*, *Othorene verana*, *Paradirphia lasiocampina*, *Sphingicampa colloida* y *Sysphinx molina*. Otros saturniidos que tienen una distribución amplia en Sonora, pero con distribución temporal o marginal justo al norte de la frontera en Arizona, incluyen: *Adeloneivaia isara*, *Automeris iris*, *A. randa*, *Citheronia splendens sinaloensis*, *Rothschildia cincta*, *Sphingicampa montana* y *S. raspa*. Los esfingidos tropicales que alcanzan su límite norte en Sonora incluyen: *Aellopos tantalus*, *Ceratonia igualana*, *Madoryx oichus*, *Manduca lanuginosa*, *Pachylia ficus*, *P. syces*, *Pseudosphinx tetrio*, *Sphinx leucophaeata*, *Xylophanes eumedon*, *X. pluto* y *X. turbata*. Las especies que escasamente extienden sus límites al norte más allá de Sonora, en Arizona, incluyen: *Aellopos clavipes*, *Callionima fal-*

cifera, *Dolbogene hartwegii*, *Erinnyis crameri*, *E. ello*, *E. lassauxii*, *Eumorphia satellitia*, *E. typhon*, *Isognathus rimosa*, *Lintneria istar*, *Manduca occulta*, *Xylophanes ceratomioides* y *X. falco*

Endemismo

Los endemismos de especies de alta movilidad como las palomillas son raros. Las plantas de las que se alimentan las larvas son parte de una región biótica y estas comunidades bióticas raramente están limitadas por las fronteras políticas. Por lo tanto, es más común que los endemismos se encuentren asociados a los bosques de pino-encino que a algún bioma en un estado. Con esta base, dos esfinges se consideran endémicas de Sonora: *Sphinx nogueirai* y *Neogurelca sonorensis*. *Sphinx nogueirai* anteriormente se consideró una forma de *S. dollii*, la cual se alimenta de táscate (*Juniperus* spp.); a esta palomilla distinta, más grande y más oscura, recientemente Haxaire (2002) le asignó un estatus específico. Actualmente esta palomilla se conoce únicamente de zonas altas de la Sierra Madre cerca de Yécora y aún se desconoce su historia de vida. *Neogurelca sonorensis* se conoce sólo de unos cuantos ejemplares, casi todos de cerca de Álamos (con un registro de Arizpe; M. Wilson, 2006, com. pers.). Su historia de vida se desconoce completamente.

Las especies que tienen su área principal de distribución en el estado de Sonora, pero ésta termina al norte, sur o este en los estados vecinos, se consideran casi endémicas. Algunos ejemplos sonorenses en la Saturniidae incluyen *Automeris patagoniensis*, *Coloradia prchali* y *Hylesia peigleri*. Aunque otros *Automeris* tienen una distribución amplia en Sonora asociados con encinos, *A. patagoniensis* se sabe que se alimenta exclusivamente de zacate (Poaceae) y probablemente está restringida por el pastoreo a áreas pequeñas donde las larvas puedan alimentarse sin ser molestadas por el ganado. La distribución conocida de esta especie es de los alrededores de Patagonia (Condado de Santa Cruz, Arizona) a Cananea, Sonora. Aunque probablemente ocurre en otras áreas de Sonora, la colecta extensiva no ha descubierto poblaciones nuevas de esta escurridiza palomilla pequeña. Los otros dos saturniidos se con-

sideran de manera más adecuada endémicas del norte de la Sierra Madre, ya que sus rangos se extienden a los estados adyacentes de Chihuahua, Durango y Sinaloa. Se encuentran en sitios altos de Sonora, especialmente en la región cercana de Yécora. *Coloradia prchali* se alimenta de pinos (*Pinus*, Pinaceae), mientras que *Hylesia peigleri* se sabe que se alimenta de una variedad de árboles entre los que se incluye aguasique (*Prunus*, Rosaceae). Los machos adultos de *C. prchali* son diurnos y son vistos con frecuencia en los bosques alrededor de Yécora en julio, mientras que las hembras son nocturnas. Este es el único miembro del género *Coloradia* con machos diurnos. *Hylesia peigleri*, aunque se describió recientemente, es un miembro de un género que ocurre en todos los trópicos de América y es famoso por sus larvas quemadoras y los pelos irritantes de las palomillas adultas. La especie de Sonora no es tan peligrosa en este aspecto como los otros miembros de este género que se encuentran más al sur; algunas de estas especies han causado la muerte a seres humanos. De cualquier manera, tanto los adultos como las larvas deben manejarse con cuidado.

Esfinges casi endémicas incluyen *Ceratonia sonorensis*, *Lintneria smithi* y la bella *Adhemarius globifer* de color verde y rojo. Tanto *C. sonorensis* (planta alimenticia *Fraxinus*, Oleaceae) y *L. smithi* (planta alimenticia *Salvia*, Lamiaceae) escasamente llegan a Estados Unidos procedentes de Sonora a lo largo de la frontera cerca de Nogales y deben encontrarse en altitudes medias en casi todo el estado. *Adhemarius globifer* es una especie de zonas altas del norte de la Sierra Madre Occidental, aunque conocemos muy poco sobre ella.

Neuroptera (hormigas león, crisopas, otros)

La característica que unifica a este orden es el diseño de las alas como encaje, llenas de venas, que por lo general tienen todos sus miembros. Incluye cerca de cuatro mil especies en el mundo divididas en 17 familias. Una familia muy conocida es Myrmeleontidae, comúnmente identificada como hormiga león. Son depredadores, por lo general de ar-

trópodos que caminan lentamente, y cuando vuelan fácilmente se pueden confundir con una libélula o cigarrillo. Las crisopas verdes, o Chrysopidae, se consideran «benéficas» e incluso se venden como agentes de control biológico debido a que son consumidores voraces de áfidos y otras pequeñas plagas agrícolas. La mayoría de los miembros de este orden son nocturnos.

Los neurópteros sonorenses se han estudiado muy poco y una sola especie acuática en este orden se ha confirmado de la sierra El Aguaje al norte de San Carlos (Bogan y Lytle, 2008). Otro registro importante de Neuroptera en Sonora es una crisopa gigante en la familia Polystoechotidae (probablemente del género *Polystoechotes*) de las inmediaciones de Yécora. Cuando oscurece, el humo de fogatas en el área atrae a estas crisopas que de otra manera no se podrían detectar (parece que las lámparas no las atraen). Se tiene un interés especial en estas crisopas debido a su disminución en la mayor parte de Estados Unidos donde actualmente sólo se encuentran en unas cuantas colonias en los estados del oeste (Marshall, 2006). Se desconoce su historia de vida pero su presencia en Sonora es interesante y merece mayores estudios.

Odonata (libélulas y cigarrillos)

El orden Odonata comprende un grupo de insectos grandes, muy conocidos, que presentan gran variedad de formas, comportamientos, colores y tamaños. Se escogió para una descripción amplia en este capítulo por ser un orden acuático y porque su distribución y taxonomía se conocen muy bien y sirve para hacer una comparación interesante con el orden terrestre Lepidoptera. Aunque algunas especies son visitantes comunes de los jardines y parques y generalistas de hábitats, otras tienen una distribución muy limitada, incluso son huidizas. Todos estos insectos son acuáticos y, en un estado árido o semiárido como Sonora, están confinados tanto en su fase larval como adultos a los cuerpos de agua presentes. Utilizan tanto los hábitats de agua corriente (lóticos) como los de agua estancada (lénticos). En sitios con agua co-

riente, el ancho del caudal, su profundidad, temperatura, pH, sustrato, plantas emergentes, presencia o ausencia de depredadores como peces, entre otras características, contribuyen a la diversidad de especies. En las lagunas o estanques muchos de estos factores también son importantes, además del nivel de oxígeno del agua, la sombra y radiación disponibles, la estabilidad del nivel de agua, etcétera.

Cerca de seis mil especies de Odonata se han descrito mundialmente, ciento treinta de las mismas se han documentado en Sonora (Bailowitz *et al.*, en prensa). Este orden se divide en dos subórdenes: Zygoptera (cigarrillos) y Anisoptera (libélulas). El suborden Zygoptera contiene veinte familias (Tennessee, 2003), cinco de las cuales –Calopterygidae (cigarrillos de alas anchas), Lestidae (alas extendidas), Coenagrionidae (cigarrillos de estanques), Platystictidae (cigarrillos de sombra) y Protoneuridae (filiformes)– se encuentran en Sonora. El suborden Anisoptera consta de once familias, cinco de ellas –Aeshnidae (bordadoras), Gomphidae (cola de maza), Cordulegastridae (cola de púa), Corduliidae (patrullas y esmeraldas) y Libellulidae (rozadores del agua)– tienen miembros en Sonora. Las dos familias más grandes en Sonora son los Libellulidos y los Coenagrionidos con cincuenta y cuarenta y seis especies respectivamente. El género más diverso es el género de cigarrillos *Argia* con 28 taxones en Sonora.

Hasta cerca de principios del siglo XXI la fauna de libélulas de Sonora se conocía muy poco. Los listados que se hicieron antes (*v.g.*, Paulson y Soriano, 2005) incluían menos de cincuenta especies. Varios factores explican esta deficiencia de datos. El aumento dramático de la diversidad de especies en regiones más al sur de México atrajo a investigadores que sólo pasaron por Sonora. Un segundo factor fue la falta de un sistema de caminos confiable hacia el pie y dentro de la Sierra Madre. Los caminos pavimentados a Álamos, Moctezuma, Quiriego, Sahuaripa y Yécora durante los últimos años han facilitado el acceso a nuevas áreas y hábitats; del mismo modo, los hoteles y restaurantes, en estos puntos lejanos, han florecido. Aunque los odonatos de Sonora actualmente se consideran más

o menos bien conocidos, aún existen grandes lagunas taxonómicas. Especialmente las sierras del noreste, al norte de Yécora, aún quedan sin documentar. Los aguajes de las cordilleras costeras al norte de San Carlos se han trabajado muy poco. La sierra de Mazatán, las sierras al este de San Bernardo, las regiones altas al noreste de Álamos y la sierra de Álamos se han explorado en forma mínima. Esto deja bastante trabajo fructífero para las futuras generaciones de entomólogos.

Desde 2001, los entomólogos de Arizona, R. Bailowitz, D. Danforth y S. Upton, han hecho viajes largos a Sonora para estudiar odonatos. La mayoría de las excursiones se han concentrado en los municipios de Yécora y Álamos con visitas secundarias a lo largo de los ríos Altar, Bavispe y Yaqui, así como a la planicie costera al sur de Guaymas. Otros investigadores que han participado en estas expediciones son Bob Behrstock, Sid Dunkle, Dennis Paulson y Ryan Sawby.

El presente estudio se basa principalmente en el trabajo de campo realizado en Sonora de 2001 a 2008. Se ha hecho una documentación detallada y un registro fotográfico minucioso. Se han tomado datos geográficos con geoposicionadores para todas las localidades de campo. Se han examinado los especímenes en el campo (manual), en el laboratorio y se han hecho disecciones completas cuando ha sido necesario. Se examinaron los ejemplares de las colecciones entomológicas de la University of Arizona en Tucson (UA) y la Arizona State University en Tempe (ASU), así como los de colecciones privadas importantes.

La ubicación de Sonora marca la intersección de regiones bióticas donde muchas especies de odonatos alcanzan los límites de su rango de distribución. En general, es donde el Neártico se junta con el Neotrópico y donde lo húmedo se encuentra con lo seco. En menor grado, es también donde el oeste se encuentra con el este, donde vestigios de los biomas de las Montañas Rocallosas entran en contacto con ramificaciones de la selva baja caducifolia (SBC). El estado se encuentra dividido, casi por la mitad, por una especie de línea de congelación, debajo de la cual la distribución de insectos no se

encuentra severamente limitada por las heladas. Varios ejemplos de los límites del rango de distribución de odonatos se presentan a continuación.

Límites meridionales

Unas cuantas especies alcanzan sus límites documentados más al sur en Sonora. *Macromia magnifica* se conoce en México de Chihuahua y Sonora y comúnmente vuela en el altiplano cerca de Yécora pero también ocurre en menor abundancia hacia el sur, por lo menos hasta el río Cuchujaqui al este de Álamos. *Libellula pulchella*, una especie común de Estados Unidos, sólo se ha reportado en Sonora de los humedales cerca de San Carlos. *Archilestes californica* es común en California y tiene un centro secundario de distribución que cruza la frontera Arizona-Sonora hacia el sur hasta Arizpe y Bacadéhuachi. *Ischnura cervula* alcanza sus límites más al sur (y casi más oriental) en el norte de Sonora, con su límite más al sur en Ímuris. *Ischnura damula* tiene su límite más al sur en la sierra de Los Ajos, al este de Cananea.

Límites occidentales

Ocho odonatos de Sonora alcanzan sus límites occidentales en esta porción de México. *Erythrodiplax funerea* y *Lestes sigma* ocurren hacia el oeste en los humedales cerca de San Carlos. *Dythemis nigrescens*, *Macrothemis inacuta* y *Perithemis domitia* son comunes hacia el oeste en el río Altar cerca de Oquitoa. *Orthemis discolor*, una especie que está extendiendo su rango, tiene su límite occidental en Santa Ana. La población más al oeste de *Argia tarascana* habita como disyunta en el Cañón del Nacapule en la sierra El Aguaje al norte de San Carlos. Por último, la única población conocida en Sonora de *A. cuprea*, una especie del este, se encuentra en la sierra al este de Yécora.

Límites orientales

Enallagma eiseni se consideraba una endémica de Baja California pero recientemente se encontró cerca de 20-25 kilómetros al oeste de Sonoyta, en los arbustos que rodean el oasis Quitobaquito, en ambos lados de la línea internacional. En cambio,

la inspección en un oasis similar en Quitovac, setenta kilómetros al sureste, no detectó evidencia de la especie.

Límites septentrionales

Por lo menos 24 especies logran sus límites más al norte en el estado de Sonora. Estas especies son principalmente tropicales que se extienden hacia el norte a lo largo de arroyos ubicados en las ramificaciones de la selva baja caducifolia y matorral espinoso de piedemonte. *Neoneura amelia*, *Phyllocycla elongata*, *Phyllogomphoides apiculatus* y *Tauriphila azteca* ocurren en la planicie costera y hacia el norte hasta el río Mayo. La planicie costera cerca de Vícam a lo largo del río Yaqui es el límite más al norte para *Micrathyria didyma* y *Telebasis levis*. El río San Marcial en Punta de Agua al norte de Empalme es el límite del rango más al norte para *Neoerythromma gladiolatum* y *Tauriphila australis*. En la sierra cerca de Yécora, un número de especies alcanzan sus límites más al norte, entre las que se incluyen *Argia ulmeca*, *Brechmorhoga tepeaca*, *Macrothemis ultima* (¡más de mil kilómetros desde la colonia conocida más cerca!) y *Progomphus belyshevi*. Los arroyos en las inmediaciones de Sahuaripa son los límites más al norte de *Brechmorhoga praecox*. La planicie costera de Ciudad Obregón alberga el límite norte para *Dythemis sterilis*. Las poblaciones reproductivas más al norte de *Macrothemis pseudimitans* (excepto por un solitario detectado en Arizona) están en las inmediaciones de Tepoca. A lo largo del río Bavispe, *Erpetogomphus bothrops*, *Progomphus clendoni*, *A. harknessi* (excepto por un grupo solitario de registros de primavera en la parte este-central de Arizona) y *Phyllogomphoides nayaritensis* alcanzan sus límites más al norte. *Argia anceps*, *A. funcki* y *Erpetogomphus elaps* habitan los arroyos cerca de Bacanora. A excepción de un registro solitario de varios individuos en San Bernardino National Wildlife Refuge en el sureste de Arizona, el límite más al norte de *A. carlcooki* es cerca de Moctezuma. Un aguaje a lo largo de la carretera al este de Tecoripa es el límite norte del rango de *A. oculata*. San José de Pimas, a lo largo del río Mátape, es el sitio más al norte para

A. pulla. *Enallagma novaehispaniae* tiene su registro más al norte a lo largo del río Altar cerca de Oquitoa.

Endemismo

Al momento de este escrito varios taxones aún no se describen. Dos de éstas son especies bien diferenciadas y se conocen solamente del estado de Sonora. Las dos son de las sierras al este de Yécora y ambas, un *Argia* y un *Erpetogomphus*, se conocen de más de una localidad. Una población aislada de *Phyllogomphoides* de la sierra El Aguaje por lo pronto se enlista aquí como *pacificus*, pero necesita mayores estudios. Otra especie de *Argia*, con una distribución extensa desde los trópicos hacia el norte, tiene una amplia variabilidad fenotípica y quizás represente grupos de especies en lugar de especies solitarias. El endemismo confirmado para Sonora es de 1.5%.

Orthoptera (grillos y chapulines)

Este orden incluye en la actualidad más de veinticuatro mil especies reconocidas mundialmente, con algunas estimaciones del total mundial de la fauna Orthoptera de cerca de ochenta mil especies. Muchas especies permanecen aún sin describirse. El orden incluye siete familias; tres son las predominantes: chapulines (antena corta, Acrididae), insectos-hoja (antena larga, Tettigoniidae) y los grillos (Gryllidae). Todos tienen como característica común una metamorfosis incompleta; después de eclosionar del huevo, las ninfas gradualmente aumentan de tamaño por medio de una serie de mudas hasta que se transforman en adultos. En la fase adulta los Acrididae y los Tettigoniidae generalmente tienen alas y pueden volar; sus alas anteriores normalmente son angostas y pesadas (comúnmente críptico, semejando una hoja o la tierra) y las alas posteriores son como abanico y membranosas, con una superficie más grande para volar. En todas sus fases, casi todos estos insectos son saltarines y brincan usando sus fémures posteriores muy agrandados. Muchos producen sonido por un mecanismo conocido como estridulación, el cual consiste en

rozar partes de su exoesqueleto. A su vez, cuando se produce el sonido, éste tiene que ser detectado y algunos Orthoptera (Tettigoniidae) tienen una membrana en sus patas delanteras que funciona como una especie de oído, mientras que otros tienen estructuras similares en otras partes de sus cuerpos.

Actualmente el orden Orthoptera de Sonora se conoce muy poco, sin que hasta ahora se haya intentado hacer un inventario completo de especies. Esta área de estudio permanece completamente abierta para los futuros biólogos, con muchos registros sorprendentes y muy probablemente especies nuevas. Dos ortópteros excepcionales del estado se describen a continuación:

Uno de los miembros más interesantes de Sonora es una especie sin identificar de *Dysonia* que imita perfectamente al grupo costroso de líquenes gris claro que con frecuencia cubre los encinos y otros árboles de la sierra. Este mimetismo moteado de gris y negro incluso va más allá y hace que la cara café del insecto imite exactamente la parte inferior volteada del talo de un líquen. Tanto los machos como las hembras de este bello insecto son atraídos a las lámparas en hábitats apropiados de altitud media. Se han colectado ejemplares tanto al norte de la sierra, en el municipio de Yécora, como en el sur en las inmediaciones del rancho Santa Bárbara (cerca de Álamos), lo que sugiere una distribución amplia a lo largo de la sierra. Siempre se ha encontrado asociado con encinos, aunque se desconoce completamente la historia de vida de este insecto. El camuflaje por lo menos sugiere una fuerte asociación con los líquenes costroso, los que de hecho pudieran ser las plantas alimenticias preferidas.

Otro tettigoniido (insecto-hoja), identificado por lo pronto como *Steirodon* sp., se conoce de julio a septiembre de los bosques húmedos de pino-encino alrededor de Yécora. Los gigantes insectos-hoja adultos alcanzan una longitud de cerca de 125 milímetros y son unos excelentes imitadores de hojas, ya que son totalmente verdes y tienen la forma de una hoja ancha. De manera extraña, los adultos frecuentemente se encuentran en el día en arbolitos de táscales (*Juniperus* spp.), que tienen follaje

finamente disectado y pareciera que el camuflaje de hoja ancha del insecto no sería ideal. A pesar de esto, los adultos son muy difíciles de ver, a menos que se muevan o algo los perturbe. Los adultos son muy malos para volar, pero cuando se les molesta pueden hacerlo varios metros al árbol más cercano. Se supone que los adultos se alimentan del tásate y tal vez adquieran cierta protección al elegir esta planta alimenticia. En ocasiones son atraídos a las lámparas. El *Steirodon* de Sonora es muy similar a otros miembros de este género que se encuentran en América Central y América del Sur, pero probablemente éste es el representante más al norte de estos Orthoptera tropicales.

Phasmida (insectos palo)

Este grupo de insectos, que debido a su naturaleza críptica fácilmente pasan desapercibidos, pertenecen al orden Phasmida y por lo común se les conoce como insectos palo. Las tres familias con distribución mundial contienen dos mil quinientas especies. Los machos son capaces de volar, pero las hembras no. Su movimiento es lento, lo cual, aunado a la coloración críptica de la mayoría de las especies y a su balanceo típico cuando no mueven sus patas, los convierte en los magos del disfraz.

Un insecto palo muy grande, identificado como *Bacteria* sp., se conoce de las inmediaciones de Álamos. Los adultos, tanto hembras como machos, se han encontrado en el follaje a la orilla de los caminos cerca del río Chahujaqui en hábitats de SBC. Los adultos generalmente se asocian con güinolo (*Acacia cochliacantha*), la que de hecho puede ser su planta alimenticia preferida. Las hembras de esta especie son criaturas impresionantes que miden más de trescientos milímetros de largo y son tan gruesas como un dedo índice, mientras que los machos miden la mitad y tienen el diámetro de un lápiz. Las hembras tienen un ovipositor característico de cerca de veinticinco milímetros de largo, en forma de vertedor, a través del cual dejan caer sus huevos en la tierra. El color de los adultos es café claro uniforme con unas manchitas negras. A menudo, estos insectos, que no vuelan, pueden ser encontra-

dos copulando al sacudir los arbustos a la orilla de los caminos durante la estación del monzón.

CONSERVACIÓN

El estatus incierto del pequeño saturniido *Automeris patagoniensis* (Lepidoptera: Saturniidae), un insecto casi endémico de Sonora, que tiene un rango aparentemente muy reducido, merece importancia para la conservación. La cría de esta palomilla ha demostrado que sólo se alimenta de zacates, y únicamente ciertos zacates nativos, lo que contrasta claramente con su pariente cercano y de distribución amplia *Automeris io*, que se alimenta de una gran variedad de plantas. Por lo tanto, *A. patagoniensis* es muy susceptible a las perturbaciones por el pastoreo del ganado, así como por los desmontes para establecer praderas de zacate buffel. Esta bella palomilla se describió recientemente de una población protegida del ganado cerca de Patagonia (Arizona). En Sonora se ha registrado únicamente de una localidad cerca de Cananea, a pesar de los inventarios extensivos hechos por todo el estado por un número importante de gente que estudia los lepidópteros. En Estados Unidos se conoce sólo del extremo sureste de Arizona, una distribución que sugiere que es principalmente una especie mexicana. La falta de registros de Sonora puede ser un indicio de la necesidad de conservación. Existe la preocupación de que esta palomilla haya sido severamente impactada por el pastoreo en todo el estado antes de que la especie se reconociera como parte de la fauna. Lógicamente, debiera encontrarse en otras áreas de las que en la actualidad se conoce, destacando la necesidad de mayores estudios y su posible protección.

En varios sitios de Sonora ya se protege en diferentes niveles la flora y fauna nativa, incluyendo a los insectos. Ejemplos de estas reservas federales son: Área Protegida de Flora y Fauna Sierra de Álamos-Río Chahujaqui, Reserva Forestal Nacional y Refugio de Fauna Silvestre Ajos-Bavispe y Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar. En una publicación muy completa sobre los

invertebrados acuáticos de la sierra El Aguaje al norte de San Carlos, Bogan y Lytle (2008) hacen firmes recomendaciones para desarrollar la conservación de esta área especialmente diversa y vulnerable, ubicada tan sólo a cinco kilómetros de San Carlos. Las relaciones e interacciones biológicas entre insectos y plantas parecen más cercanas a la biota de Sinaloa y más al sur en vez de las relaciones de la Sierra Madre del este de Sonora. En lo que se refiere a visitantes descuidados en el cañón, en el reporte se expresa que: «El tránsito de turistas, combinado con la amenaza en ciernes de extracción de agua subterránea, lo cual disminuye el nivel freático en lugares como el Nacapule y los riachuelos, representa una de nuestras principales preocupaciones.» Diez especies de invertebrados acuáticos se encontraron en estos riachuelos del Nacapule y no se localizaron en otra parte de la sierra El Aguaje; estas diez especies se encuentran en alto riesgo de extinción local. Nos gustaría que el Cañón del Nacapule se protegiera como parte del sistema de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (ANP), ya sea como una ANP o una reserva de la biósfera. Conforme se sigan desarrollando estudios sobre la historia natural de Sonora y las características de varias de sus cadenas montañosas y cuerpos de agua se conozcan mejor, sin duda muchos sitios adicionales podrán ser sugeridos para su conservación en un nivel u otro.

CONCLUSIONES

Resulta incomprensible el tener una porción tan enorme de la naturaleza de nuestro entorno, de nuestro rompecabezas ambiental, de la comunidad biótica en la que vivimos, como lo es el estado de Sonora, y que nuestro conocimiento sea tan imperfecto e incompleto. Varios miles de especies de insectos, muchos de los cuales se conocen tan poco que aún no se describen científicamente, ocupan los jardines y el interior de Sonora. Nosotros estudiamos lo que es más fácil y más obvio, las mariposas, las palomillas grandes y las libélulas, pero evitamos las pequeñas criaturas ocultas, escasas y

de colores sutiles que representan la mayor parte de la vida en la Tierra.

Este es el tiempo perfecto para la investigación científica en Sonora, para aumentar las colectas de insectos para estudios taxonómicos; para usar lo último de la tecnología digital a fin de crear un sistema de registros fotográficos de varios grupos de insectos en Sonora; para extender el plan de estudios de las ciencias ambientales con el propósito de incluir a los insectos como organismos de gran interés ecológico en las universidades; para fomentar entre la población el interés y conocimiento de los insectos y su entorno natural; para proteger grandes extensiones de terreno virgen, conservar cadenas montañosas aisladas y limitar el daño causado por las demandas de la población humana.

Se conoce aproximadamente noventa por ciento o más de los miembros de la fauna de mariposas, palomillas grandes y libélulas de Sonora. Si bien el total de especies de estos taxones es muy similar al de Arizona, ubicado justo al norte, los totales para estados del sur como Oaxaca, Chiapas, Veracruz, etcétera, son mucho mayores, a menudo el doble o triple. Lo más probable es que esto refleje factores ambientales más que falta de estudio de estos grupos de insectos, ya que como regla general la diversidad aumenta conforme uno se acerca al ecuador. Pero los otros, los grupos menos conocidos, requieren de una cantidad enorme de trabajo. Es importante conocer estas criaturas con las que compartimos el planeta con el objeto de obtener un punto de vista más equilibrado del lugar en donde encaja la raza humana en el plan general de la naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento sincero para todos los investigadores participantes en este proyecto, en especial a los que lo visualizaron, organizaron, coordinaron y finalmente lo produjeron. Por supuesto, éste es el principio en vez del final, pero virtualmente todos los proyectos científicos lo son. También agradecemos a nuestras familias, que nos permitieron compartir nuestro tiempo con el pro-

yecto, una tarea no muy fácil. Hacemos una mención especial a Michael Bogan que nos facilitó datos valiosos y orientación sobre los insectos acuáticos del estado, así como a Doug Danforth y Sandy Upson por su compañía y conocimiento de la historia natural en general, a Jim Brock por su conocimiento sobre mariposas y las relaciones entre las plantas y los insectos, a Justin Schmidt por su información sobre las hormigas y avispas, a Michael Wilson por su amplio conocimiento, su experiencia de campo y la revisión cuidadosa del manuscrito y a Ray Nagle por su sabiduría, apoyo y compañía a través de muchos años y aventuras en ambos lados de la frontera.

LITERATURA CITADA

- ARNETT, R.H. JR. y R.L. JACQUES JR. 1981. *Insects*. Simon y Schuster. Nueva York.
- BAILOWITZ, R., S. UPSON y D. DANFORTH. En prensa. *A Field Guide to the Dragonflies and Damselflies of Sonora and Arizona*. Drylands Institute. Tucson, Arizona.
- BAILOWITZ, R. y H. BRODKIN. 2007. *Finding Butterflies in Arizona*. Johnson Books. Boulder, Colorado.
- BESTELMEYER, B.T. y R.L. SCHOOLEY. 1999. The Ants of the Southern Sonoran Desert: Community Structure and the Role of Trees. *Biodiversity and Conservation* 8: 643-657.
- BOGAN, M.T. y D.A. LYTLE. 2008. Biological Inventory of Isolated Oases in the Sierra El Aguaje, Sonora, México. Graduate dissertation. Oregon State University.
- BROWN, J.W. y J.P. DONAHUE. 1989. The Sphingidae (Lepidoptera) of Baja California, Mexico. *Journal of the Lepidopterists Society* 43: 184-209.
- BROWN, D.E. y K.B. CLARK. 2005. *The Demise of the Imperial Woodpecker (Campephilus imperialis): Known Specimens, Historic Range and Reasons for Extinction*. Special Symposium Abstracts, the Ecology of Large Woodpeckers: History, Status and Conservation. Brinkley, Arkansas.
- BURNIE, D. y D.E. WILSON, eds. 2005. *Animal*. Smithsonian Institution, Dorling Kindersley Publishing, Londres y Nueva York.
- BÚRQUEZ, A. 1997. Distributional Limits of Euglossine and Meliponine Bees (Hymenoptera: Apidae) in Northwestern Mexico. *Pan Pacific Entomol* 73: 137-140.
- BÚRQUEZ, A., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR, R.S. FELGER y D. YETMAN. 1999. Vegetation and Habitat Diversity at the Southern Edge of the Sonoran Desert. En: R.H. Robichaux, ed. *Ecology of Sonoran Desert Plants and Plant Communities*. University of Arizona Press, Tucson, pp. 36-67
- CRUZ-REYES, A. y J.M. PICKERING-LÓPEZ. 2006. Chagas Disease in Mexico. Río de Janeiro. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 101: 345-354.
- DEANS, A.R. y L.M. ROTH. 2003. *Nyctibora acaciana* (Blatellidae: Nyctiborinae), a New Species of Cockroach from Central America that Oviposits on Ant-Acacias. *Transactions of the American Entomology Society* 129: 267-283.
- EBELING, W. 1978. *Urban Entomology*. University of California Press. Berkeley.
- FELGER, R.S., M.B. JOHNSON y M.F. WILSON. 2001. *The Trees of Sonora, Mexico*. Oxford University Press, Nueva York.
- HAXAIRE, J. 2002. *Sphinx nogueirai*, nouveau Sphingidae du Sonora (Lepidoptera; Sphingidae) *Lamblionea* C11: 459-462.
- KITCHING, I.J. y J-M. CADIOU. 2000. *Hawkmoths of the World: An Annotated and Illustrated Revisionary Checklist (Lepidoptera: Sphingidae)* Natural History Museum, Londres.
- LEMAIRE, C. 2002. *Saturniidae of America*. 3 vols. Goeke y Evers, Keltern.
- LICTWARDT, R. 1986. *The Trichomyces: Fungal Associates of Arthropods*. Springer-Verlag, Nueva York.
- LLORENTE, J., A. LUIS-M., I. VARGAS y J. SOBERÓN. 1993. Biodiversidad de las mariposas: su conocimiento y conservación en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* XLIV.
- LLORENTE, J., A.N. GARCIA-ALDRETE, E. GONZÁLEZ-SORIANO y C. CORDERO. 1996. Breve panorama de la taxonomía de artrópodos en México. En: J. Llorente, A.N. García-Aldrete y E. González-Soriano, eds. *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 3-14.
- LO, N., G. TOKUDA, H. WATANABE, H. ROSE, M. SLAYTOR, K. MAEKAWA, C. BANDI y H. NODA. 2000. Evidence from Multiple Gene Sequences Indicates that Termites Evolved from Wood-Feeding Cock-

- roaches. *Current Biology* 10: 801-804.
- LUIS, A.M., J. LLORENTE, I.F. VARGAS y A.D. WARREN. 2003. Biodiversity and Biogeography of Mexican Butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 105 (1).
- MARSHALL, S.A. 2006. *Insects: Their Natural History and Diversity; with a Photographic Guide to Insects of Eastern North America*. Firefly Books, Buffalo, Nueva York.
- MINCKLEY, R. 2008. Faunal Composition and Species Richness Differences of Bees (Hymenoptera: Apiformes) from Two North American Regions. *Apidologie* 39: 176-188.
- MORON, M.A. y B.C. RATCLIFFE. 1989. A Synopsis of the American Goliathini with Description of a New *Neoscelis* from Mexico (Coleoptera: Carabaeidae: Cetoniinae) *The Coleopterists Bulletin* 43: 339-348.
- MORRONE, J.J. y J. MÁRQUEZ. 2008. Biodiversity of Mexican Terrestrial Arthropods (Arachnida and Hexapoda): A Biogeographical Puzzle. *Acta Zoológica Mexicana* 24: 15-41.
- NAVARRETE-HEREDIA, J.L. 2003. A New Species of *Philonthus* (Coleoptera: Staphylinidae) from Sonora, Mexico. *Zootaxa* 390: 1-7.
- NOM. 2002. NOM-059-ECOL-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*, Norma Oficial Mexicana, 6 de marzo.
- PAULSON, D.R. y V.G. SORIANO. 2005. *Odonata of Mexico, by State*. Slater Museum of Natural History, Washington.
- PELHAM, J.P. 2008. A Catalogue of the Butterflies of the United States and Canada. *The Journal of Research on the Lepidoptera* 40: 1-658.
- PHILLIPS, S.J. y P. COMUS, eds. 2000. *A Natural History of the Sonoran Desert*. Arizona-Sonora Desert Museum Press, Tucson, y University of California Press, Berkeley.
- RESH, V.H. y R.T. CARDÉ, eds. 2003. *Encyclopedia of Insects*. Academic Press. San Diego, California, pp. 564-566.
- SÁNCHEZ-RAMOS, G. y P. REYES-CASTILLO. 2006. Ecological Interaction of *Pantophthalmus roseni* (Enderlin) (Diptera: Pantophthalmidae) and the Red Oak *Quercus germana* Sachltdl. et Cham. (Fagaceae) in a Mexican Cloud Forest. *Acta Zoológica Mexicana* 22: 45-56.
- TENNESSEN, K.J. 2003. Odonata. En: V.H. Resh y R. T. Cardé, eds. *Encyclopedia of Insects*. Academic Press. San Diego, California, pp. 814-823.
- TRUNZER, B., J. HEINZE y B. HOELLDÖBLER. 1998. Cooperative Colony Founding and Experimental Primary Polygyny in the Ponerine ant *Pachycondyla villosa*. *Insectes Sociaux* 45: 267-276.
- TUTTLE, J.P. 2007. *Hawkmoths of North America*. The Wedge Entomological Research Foundation, Washington.
- VAN DEVENDER, T.R. y H. LAWLER. 1996. Life History Notes. Serpentes. *Sympholis lippiens*, Banded Burrowing Snake. *Diet Herpetological Review* 27: 205.
- WALSH, J. 2008. Sphingidae and Saturniidae of Sonora, Mexico (<http://nitro.biosci.arizona.edu/zeeb/butterflies/sormoth.html>) consultada en febrero de 2009.
- WARREN, A.D., K. DAVIS, J. PELHAM y M. STANGELAND. 2008. Butterflies of America (<http://www.butterflysofamerica.com>) consultada en febrero de 2009.

Capítulo traducido por Ana Lilia Reina-Guerrero

PECES DULCEACUÍCOLAS

ALEJANDRO VARELA-ROMERO¹ Y DEAN A. HENDRICKSON²

RESUMEN. Las recolectas de la ictiofauna dulceacuícola del estado de Sonora efectuadas desde principios del siglo XIX registran hasta el momento 109 especies, de las cuales 33 son de derivación periférica. Setenta y nueve son especies estrictamente dulceacuícolas, 53 son nativas y al menos 26 introducidas. Sólo cuatro especies son endémicas al estado. Las especies nativas son de origen neártico o neotropical y representan 9.6% de las especies de peces nativos del país y 22%, 34.3% y 41.1% de los géneros, familias y órdenes de estas especies, respectivamente. Además, constituyen cuarenta por ciento de los clupeidos, 17.7% de los cipriniformes (ciprínidos y catostómidos), 16.6% de los salmónidos, 6.5% de los ciprinodontiformes (pecílidos y ciprinodóntidos) y 4.5% de los ictalúridos del país. La ictiofauna se encuentra en peligro. Una especie está extinta y nueve han sido extirpadas hasta el momento del territorio sonoreño pero persisten en regiones adyacentes. Los impactos de las actividades humanas que afectan la permanencia y estabilidad de las poblaciones de peces nativos son la alteración y fragmentación de hábitats por la construcción de presas, el uso indiscriminado del agua para fines agropecuarios, mineros y de desarrollo humano y a la introducción de peces exóticos. Cincuenta por ciento de las especies de peces nativos de Sonora se encuentran incluidas bajo alguna categoría de protección a nivel federal; ocho se encuentran en peligro de extinción, diez amenazadas y cuatro sujetas a protección especial. La actual Norma Oficial Mexicana (NOM-059) se encuentra en revisión y seguramente cambiará el estatus de especies en el estado de Sonora e incrementará este listado nacional. Es evidente la falta de programas de protección, manejo y conservación de este singular recurso íctico del estado.

¹ Universidad de Sonora. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

² University of Texas.

ABSTRACT. Collections from the beginning of the XIX century to the present demonstrate the Sonoran freshwater continental fish fauna to be comprised of 109 species, 33 of marine origin. Seventy nine species are strictly freshwater, 53 native and 26 introduced. Four species are endemic to the state. The natives include species of both nearctic and neotropical origins, and comprise 9.6, 22, 34.3, and 41.1%, respectively, of Mexico's native genera, families, and orders. The state also supports forty per cent of the country's clupeids, 17.7% of the cypriniformes, 16.6% of salmonids, 6.5% of cyprinodontids, and 4.5% of its ictalurids. The fauna is endangered. One species is extinct and nine have been extirpated from the state but persist in adjacent regions. Major human impacts affecting the permanency and stability of the state's native fish populations include habitat alteration and fragmentation by reservoirs, and indiscriminate use of water for agricultural, livestock, and mining activities, as well as pollution and introductions of exotic fishes. Fifty percent of Sonora's native fishes are now protected by the federal government; eight are endangered, ten threatened, and four under special protection. The current NOM-059 is under revision, and changes to status in the state of Sonora species are suggested. The lack of adequate protection, management and conservation programs for this singular fish fauna is evident.

COLECTA Y DESCRIPCIÓN DE ESPECIES

El conocimiento histórico de la ictiofauna sonoreña inicia con la noción de los primeros pobladores sobre el uso de estos recursos de la región. Su efímero registro sólo puede encontrarse en forma de pinturas y grabados sobre roca, escasamente dispersos en territorio sonoreño. Al igual que el resto

de las culturas nativas del país, los nativos sonorenses muy posiblemente tenían un adecuado conocimiento de los peces que habitaban la región (Mozziño, 1970; McVaugh, 1977; Engstand, 1981). La historia escrita acerca de la ictiología sonorensis surge con la mención de la ictiofauna existente en cuencas del estado por Juan Nentvig (1971) en su obra escrita en 1764 y titulada *Descripción geográfica, natural y curiosa de la Provincia de Sonora, por un amigo de el servicio de Dios y de el Rey Nuestro Señor*. Nentvig citó la presencia de bagres y matalotes como los peces dulceacuícolas más comunes en ríos y sus tributarios en Sonora y de truchas en sólo algunos de estos arroyos. Existe además información publicada proveniente de exploraciones realizadas a mitad del siglo XIX hacia la frontera suroeste de Estados Unidos y noroeste de México. Spencer F. Girard promovió la participación de naturalistas en estas exploraciones y de allí se desprenden las primeras publicaciones que incluyen algunas de las descripciones de peces en Sonora y de otros estados a ambos lados de la frontera (Emory, 1848 y 1857; Bartlett, 1854; Girard, 1854, 1856 y 1859). Las primeras contribuciones ictiológicas más relevantes de la época fueron las de Jordan y Gilbert (1882) y Jordan y Evermann (1896) y pocos años después las de Seth E. Meek sobre recolectas de peces dulceacuícolas en territorio mexicano (Meek, 1903). Estas contribuciones son reconocidas como invaluable para la ictiología sonorensis y mexicana debido a la magnitud de la cobertura geográfica, al total de especies incluidas y a la compilación de la información existente hasta esa fecha. Posteriormente, las recolectas en suelo sonorensis realizadas por el doctor Edgar A. Mearns en los ríos Colorado, Gila, Santa Cruz, San Pedro, Sonoyta, Yaqui, San Bernardino y el arroyo Cajón Bonito, fueron publicadas por Snyder (1915) y actualizaron el conocimiento hasta esa época.

Los ictiólogos contemporáneos más destacados por su contribución al conocimiento de la ictiofauna sonorensis fueron el doctor Robert R. Miller y sus colaboradores (Miller, 1943, 1945, 1950, 1952, 1959, 1960, 1961, 1966, 1976 y 1986; Hubbs y Miller, 1941; Miller y Winn, 1951; Chernoff y Mi-

ller, 1982; McMahon y Miller, 1985; Miller y Fuiman, 1987) y el doctor W. L. Minckley y sus colaboradores (Minckley, 1973 y 1979; Minckley y Deacon, 1968; Minckley y Barber, 1970; Minckley y Brown, 1982; Minckley *et al.*, 1986; Siebert y Minckley, 1986; DeMarais y Minckley, 1991; Rinne y Minckley, 1991; Hendrickson *et al.*, 1981). Todos ellos formaron un importante grupo de ictiólogos, varios de ellos compatriotas, que, en su mayoría, aún desarrollan la investigación de la ictiofauna del estado y del país. Gran parte de las aportaciones contemporáneas se han dirigido a la descripción de especies, su taxonomía, historia natural y distribución en cuencas hidrológicas de Sonora (Branson *et al.*, 1960; Álvarez del Villar, 1970; Moore *et al.*, 1970; McNatt, 1974; Burr, 1976; Rinne, 1976; Contreras-Balderas, 1978; Hendrickson, 1984 y 1987; Hendrickson y Juárez-Romero, 1990; Lundberg, 1992; Vrijenhoek, 1994; Quattro *et al.*, 1992). Las contribuciones más recientes, ya en el siglo XXI, aún dirigen la investigación hacia el conocimiento de la taxonomía con el apoyo de herramientas moleculares y el análisis ictiogeográfico mediante sistemas de información geográfica, hacia la historia natural de las especies y sus hábitats, así como hacia los impactos ocasionados por el desarrollo humano sobre la permanencia de esta singular fauna y su conservación (Echelle *et al.*, 2000; Minckley y DeMarais, 2000; Hendrickson *et al.*, 2002; Hendrickson y Varela-Romero, 2002; Mateos *et al.*, 2002; Varela-Romero *et al.*, 2002; Ruiz-Campos *et al.*, 2003; Unmack y Fagan, 2004; Miller *et al.*, 2005; Hedrick *et al.*, 2006). En su mayoría, estos trabajos mantienen un interés específico y poco se ha escrito acerca de la biodiversidad íctica del estado y de la situación actual de sus poblaciones.

CUENCAS HIDROLÓGICAS DE SONORA

Sonora posee un variado mosaico de hábitats y biodiversidad acuática dentro de sus doce cuencas hidrológicas (figura 1). Una gran parte de su territorio se considera un ecosistema de desierto con va-

rios tipos de comunidades bióticas (Brown, 1994). Su historia geológica ha promovido la formación de un sistema hidrológico muy singular (Deacon y Minckley, 1974; Hendrickson *et al.*, 1981; Minckley, 1982; Minckley *et al.*, 1986; Miller, 1986). La mayoría de las cuencas de este estado se ubican en las Provincias Fisiográficas de la Sierra Madre Occidental (SC) y en las de Cuencas y Llanuras Sonorenses y del Pacífico (BR) (INEGI, 1991; Ricketts *et al.*, 1999). La formación y evolución de las cuencas hidrológicas sonorenses fueron promovidas por movimientos orogénicos en la Sierra Madre Occidental, el Desierto Sonorense y una serie de pequeñas sierras aisladas y valles que recorren de norte a sur el estado (Blásquez, 1959; Araiza, 1982).

Históricamente los ríos de Sonora formaron

grandes complejos hidrológicos en una gran extensión del suroeste de Estados Unidos y del norte y noroeste de México, situación congruente con las afinidades a la fauna íctica de la Mesa del Norte y a las cuencas de la vertiente del Pacífico Noroeste (Miller, 1959, 1966 y 1986). Actualmente sólo los ríos Colorado, Yaqui y Mayo drenan sus aguas en el Golfo de California después de surgir de las montañas Rocallosas y de la Sierra Madre Occidental, respectivamente, fluyendo a través del desierto sonorense. A excepción de las de los ríos Sonora, San Ignacio, Bacoachi, Cocoraque y Mátape, todas las cuencas hidrológicas se encuentran compartidas con los estados de Baja California, Chihuahua y Sinaloa, y en los Estados Unidos con Arizona y Nuevo México. El arroyo Cachujaqui,

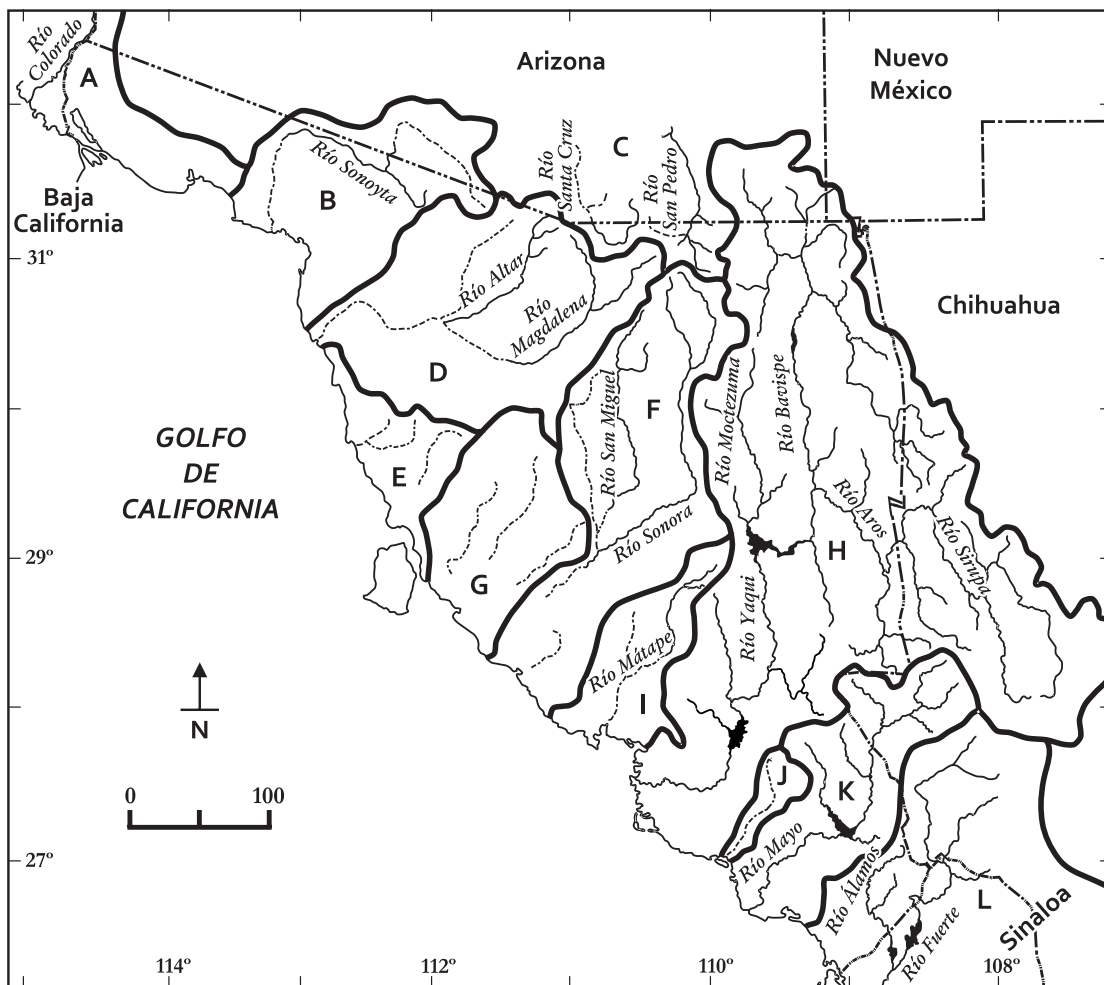


Figura 1. Cuencas hidrológicas y principales ríos del estado de Sonora (A = Río Colorado, B = Río Sonoyta, C = Río Gila, D = Río de la Concepción, E = Río San Ignacio, F = Río Sonora, G = Río Bacoachi, H = Río Yaqui, I = Río Mátape, J = Arroyo Cocoraque, K = Río Mayo, L = Río Fuerte).

representante de la cuenca del río Fuerte en Sonora, vierte su caudal a este río que drena sus aguas en la costa de Sinaloa (Hudson *et al.*, 2005; Miller *et al.*, 2005). En general, las cuencas hidrológicas de Sonora drenan un área aproximada a 170 880 km² con una descarga media anual menor a los 11 851 m³ (Miller *et al.*, 2005).

LA ICTIOFAUNA DULCEACUÍCOLA DE MÉXICO Y SONORA

Composición de la ictiofauna dulceacuícola

La ictiofauna dulceacuícola de México comprende peces estrictamente de aguas dulces (permanentes y secundarios) y aquellos que toleran por largos períodos de tiempo distintos grados de salinidad en aguas interiores. La estimación más reciente sobre el total de esta fauna íctica es de alrededor de quinientas especies (Miller *et al.*, 2005). De acuerdo a su origen y afinidad, la ictiofauna sonorensis y la continental de México se distribuyen en las regiones biogeográficas neártica y neotropical. Las principales familias neárticas con especies presentes en Sonora son las Salmonidae, Cyprinidae, Catostomidae e Ictaluridae y las neotropicales son las Cichlidae y Poeciliidae. Los peces neárticos son más abundantes en aguas continentales de Sonora (Miller *et al.*, 2005). Cabe mencionar que en Sonora y su litoral concurre más del veinte por ciento de la ictiofauna conocida para México (véase apéndice en disco compacto). Sin embargo, algunas de las especies de este conteo incluyen peces vicarios eurihalinos y costeros marinos que han sido registrados en estuarios y lagunas costeras de Sonora, respectivamente, por lo que se considera un registro para aguas continentales y no de tipo dulceacuícola (Castro-Aguirre *et al.*, 1999). Los peces vicarios son especies periféricas que pueden establecerse en aguas dulces en ausencia de representantes primarios y secundarios, aunque son estrictamente de afinidad marina. Para integrar este conteo hemos incluido en el apéndice (véase disco compacto) todos los peces continentales registrados en la literatura

y consideramos únicamente dentro del análisis y la discusión a los peces primarios (peces dulceacuícolas obligados) y secundarios (peces eurihalinos). Los registros vicarios incluidos aquí son los localizados en cauces de ríos de Sonora y son una muestra de la riqueza que pueden representar dentro del ambiente dulceacuícola; sin embargo, este grupo de peces no será descrito en este trabajo y para una mejor apreciación de su relevancia se recomienda consultar los trabajos de Castro-Aguirre *et al.* (1978 y 1999). Al grupo de los peces primarios pertenecen 54 especies repartidos en 6 familias y 23 géneros (Cyprinidae, Catostomidae, Ictaluridae, Salmonidae, Centrarchidae y Cichlidae). Como especies secundarias están 23 agrupadas en seis familias (Clupeidae, Poeciliidae, Cyprinodontidae, Eleotridae, Gobiidae y Paralichthyidae) (véase apéndice en disco compacto).

El registro fósil es aún insuficiente para permitir una visión clara de la historia ancestral de la ictiofauna nativa de Sonora. El hallazgo en el rancho La Brisca constituye el registro fósil mejor documentado del estado y pertenece a especies de peces de las familias Cyprinidae (*Rhinichthys chrysogaster*) y Catostomidae (*Catostomus wigginsi*). Se considera también como el primer registro fósil conocido del género *Catostomus* para México y se reporta a un *Poeciliopsis* aún no descrito como el único registro fósil de esta familia para México (Van Denvender *et al.*, 1985). Uno de los peces primarios relictos presentes de la región es un representante del Pleistoceno cercano al género *Gila*, de la cuenca alta del río Yaqui en Chihuahua (Smith, 1981). Recientemente se han detectado fósiles de una diversa y rica ictiofauna en depósitos de lava del Pleistoceno a lo largo del río Moctezuma. La fauna acuática es abundante y destaca la presencia de carpas, matalotes y bagres. A pesar de que no se han identificado los restos (Mead *et al.*, 2006), se cree que su afinidad con especies actuales o recientemente extintas puede aportar importantes avances en el conocimiento de la ictiofauna de la región.

Los registros a lo largo de recolectas iniciadas a finales del siglo antepasado y hasta la actualidad (Jordan y Everman, 1896; Meek, 1904; Espinosa-

Pérez *et al.*, 1993; Varela-Romero, 1995; Miller *et al.*, 2005) y nuestros propias recolectas documentan que la ictiofauna dulceacuícola de Sonora incluye 79 especies de peces; las 53 nativas y al menos 26 introducidas (Juárez-Romero *et al.*, 1988; Campoy-Favela, *et al.*, 1989; Hendrickson y Varela-Romero, 1989; Juárez-Romero *et al.*, 1989; Hendrickson y Juárez-Romero, 1990; Varela-Romero, 1995). Entre las nativas, ocho especies se encuentran extirpadas del territorio nacional y una está extinta. Con respecto al total nacional, Sonora representa 9.6% de las especies de peces nativos del país y 22, 34.3 y 41.1% de los géneros y familias a escala nacional, respectivamente (tabla 1). De éstas, 40% de las especies de clupeídeos, 17.7% de las de los cypriniformes (ciprínidos y catostómidos), 16.6% de las de los salmónidos, 6.5% de las de los ciprinodontidos (pecílidos y ciprinodontidos), 9.4% de las de los perciformes (centrárquidos) y 4.5% de las de los Siluriformes (ictalúridos)

se encuentran en nuestro estado (tabla 1).

Endemismo y distribución por cuencas

Sólo cuatro especies son endémicas dentro de los límites del estado: el matalote Opata (*C. wigginsi*) a la cuenca del río Sonora, el guatopote del Concepción (*Poeciliopsis* n. sp.) a la cuenca del río de la Concepción, una forma taxonómicamente no determinada de la carpita adornada *Cyprinella* n. sp. a la cuenca del río Yaqui y, por último, la carpa del desierto (*Gila eremica*) endémica a las cuencas de los ríos Sonora, Mátape y Yaqui. Sin embargo, Sonora y sus cuencas hidrológicas albergan un número importante de endemismos a nivel de las provincias biogeográficas de las que forman parte.

La distribución de los peces nativos en las cuencas hidrológicas de Sonora tiene relación con su origen y con los mecanismos de dispersión a lo largo del tiempo geológico. El bajo río Colorado es

Tabla 1. Resumen de la riqueza de especies de peces dulceacuícolas nativos de México para cada orden, familia y géneros y los presentes actualmente para el estado de Sonora

Especie	México			Sonora			% de especies para Sonora
	Familias	Géneros	Especies	Familias	Géneros	Especies	
Petromyzontiformes	1	1	2	0	0	0	0.0
Acipenseriformes	1	1	1	0	0	0	0.0
Anguilliformes	1	1	1	0	0	0	0.0
Clupeiformes	1	2	5	1	2	2	40.0
Cypriniformes	2	23	107	2	9	19	17.8
Characiformes	1	5	8	0	0	0	0.0
Siluriformes	3	7	22	1	1	1	4.5
Gymnotiformes	1	1	1	0	0	0	0.0
Salmoniformes	1	1	6	1	1	1	16.7
Ophidiiformes	1	1	1	0	0	0	0.0
Batrachoidiformes	1	1	1	0	0	0	0.0
Gobiesociformes	1	1	2	0	0	0	0.0
Cyprinodontiformes	6	39	169	2	3	11	6.5
Atheriniformes	1	4	37	1	1	1	2.7
Gasterosteiformes	1	1	1	0	0	0	0.0
Synbranchyiformes	1	1	1	0	0	0	0.0
Perciformes	8	19	74	3	7	7	9.5
Total	32	109	439	11	24	42	9.6
% para Sonora	—	—	—	34.4	22	9.6	—

Fuente: Miller *et al.* (2005).

la cuenca más norteña del estado y representa históricamente la desembocadura de mayor importancia en el Pacífico mexicano. Su ictiofauna nativa estuvo compuesta hasta antes del siglo XIX por peces endémicos altamente especializados a hábitats de grandes ríos como la carpa elegante (*Gila elegans*), la carpa aleta redonda (*Gila robusta*), la carpita afilada (*Plagopterus argentissimus*), la carpa gigante del Colorado (*Ptychocheilus lucius*) y el matalote jorobado (*Xyrauchen texanus*). Sin embargo, esta ictiofauna nativa relictas se encuentra totalmente extirpada del territorio nacional y persiste sólo en hábitats restringidos en Estados Unidos (Follett, 1960; Miller, 1961; Holden, 1980; Minckley, 1982; Minckley y Deacon, 1991; Ruiz-Campos y Contreras-Balderas, 1987). Sólo el pez cachorrillo del desierto (*Cyprinodon macularius*) permanece en el delta del río Colorado como único pez dulceacuícola nativo en la porción mexicana (Echelle *et al.*, 2000; Varela-Romero *et al.*, 2002). La cuenca del río Gila, como subcuenca del Colorado, está formada en Sonora por sus tributarios los ríos San Pedro y Santa Cruz; ambos relatan una historia de modificaciones ambientales y defaunación narrada de forma excelsa por Minckley (1985). En ella permanecen aún la carpa del Gila (*Gila intermedia*) como endémico, el pupo panza verde (*Rhinichthys chryso-gaster*) y los matalotes de Sonora (*Catostomus insignis*) y del desierto (*C. clarki*), pero al igual que en el Colorado, en México se ha documentado la pérdida de las carpas aleta redonda, aguda (*Meda fulgida*), pinta (*Rhinichthys osculus*), locha (*Rhinichthys cobitis*), el cachorrillo del Santa Cruz (*Cyprinodon arcuatus*) y el del desierto y el guatopote del Gila (*Poeciliopsis occidentalis*) (Miller y Winn, 1951; Minckley, 1973 y 1980; Hendrickson y Varela-Romero, 1989; Minckley *et al.*, 2002).

El río Sonoyta es el más norteño de un grupo de pequeñas cuencas que actualmente no alcanzan a drenar sus aguas en la superficie hasta la costa de Sonora y se distribuyen al noroeste y centro del estado. Este antiguo tributario de la cuenca del río Colorado fue aislado de ésta en el Pleistoceno por la formación de la sierra volcánica del Pinacate (Lynch, 1981). El pez cachorrillo del Sonoyta (*Cy-*

prinodon eremus) se considera un endemismo de la cuenca reconocido taxonómicamente hace poco tiempo, en donde se desarrolla separado de su con-géner hermano el cachorrillo del desierto (McMahon y Miller, 1985; Miller y Fuiman, 1987; Echelle *et al.*, 2000) y cohabita con el pupo panza verde (May, 1976; Juárez-Romero *et al.*, 1989; Hendrickson y Varela-Romero, 2002). Inmediatamente al sur se encuentra la cuenca del río de la Concepción donde concurren la carpa sonorensis (*Gila ditaenia*) y el guatopote del Concepción, que cohabitan con los otros nativos, el pupo panza verde y el guatopote del Gila. Un patrón similar se encuentra en las cuencas de los ríos Sonora y Mátape, donde el único endémico de la primera cuenca es el matalote Opata (*Catostomus wigginsi*), mientras que la carpa del desierto (*Gila eremica*) es endémico a las dos cuencas. El rodapiedras mexicano se encuentra en el río Sonora y, con excepción del Mátape, está ampliamente distribuido en los otros ríos del estado localizados más al sur. El guatopote de Sonora (*P. sonoriensis*) sustituye al del Gila, empezando en el Mátape donde inicia su amplia distribución por el resto de las cuencas de la vertiente Pacífico hacia el sur en Sonora (Miller *et al.*, 2005).

A la cuenca del río Yaqui le corresponde la más extensa y diversa ictiofauna con 34.24% del total de las especies registradas para el estado. Su fauna íctica presenta bajo endemismo, ya que sus especies las comparte o se han derivado por medio de intercambios con cuencas vecinas como las de los ríos Gila al norte y Mayo al sur. También se han registrado intercambios faunísticos con las cuencas orientales adyacentes del lago Guzmán y del río Conchos en la Mesa del Norte y al oeste con las cuencas del Sonora y el Mátape, debido principalmente a conexiones tectónicas o de aluvión y por medio de pasos estuarinos (Miller *et al.*, 2005). Nueve ciprínidos, el rodapiedras mexicano, las carpitas yaqui (*Cyprinella formosa*), adornada (*Cyprinella ornata*) y una forma no descrita (*Cyprinella* n. sp.), del desierto, aleta redonda mexicana (*Gila minacae*), púrpura (*G. purpurea*) y cabezona (*Pimephales promelas*) y el pupo mexicano (*Rhinichthys* n. sp.) habitan esta cuenca. Adicionalmente, los ma-

talotes yaqui (*Catostomus bernardini*), Cahita (*C. cabita*), del Bavispe (*C. leopoldi*) y del Bravo (*C. plebeius*) coexisten con el bagre yaqui (*Ictalurus pricei*) y los guatopotes del Gila y Culiche (*Poeciliopsis prolifca*). La trucha yaqui (*Oncorhynchus n. sp.*), aún no descrita, se distribuye en la parte alta de los arroyos de aguas frías de esta cuenca y la del río Mayo. La mojarra sinaloense (*Herichthys beanii*) registra aquí su distribución más norteña y comparte en la cuenca baja el hábitat con la sardinita del Pacífico (*Dorosoma smithi*), entre otros peces secundarios (Minckley *et al.*, 1980). La cuenca del río Mayo recibe una fuerte influencia de la ictiofauna de su vecina norteña, la cuenca del río Yaqui; se registra una lista más reducida de las especies mencionadas anteriormente para la cuenca del Yaqui. Los ciprínidos de la cuenca del río Mayo son el rodapiedras mexicano, la carpa aleta redonda mexicana y el pupo mexicano y entre los catostómidos se cuentan a los matalotes yaqui y cahita. Faltaría por añadir al guatopote mayo (*Poeciliopsis monacha*), la trucha yaqui, la mojarra sinaloense y la sardinita del Pacífico. Por último, el arroyo Cuchujaqui representa la mayor influencia de la fauna neotropical del estado. Los guatopotes del Fuerte (*Poeciliopsis latidens*), Mocerito (*P. lucida*), Mayo y Culiche y el topote del Pacífico (*Poecilia butleri*), junto con la mojarra sinaloense, representan 45% del total de la ictiofauna de la subcuenca con respecto a la carpa aleta redonda mexicana, el pupo panza verde, el rodapiedras mexicano, los matalotes yaqui y cahita y el bagre yaqui (Varela-Romero *et al.*, en dict. para publ.). El único aterínido registrado para Sonora es el plateadito del Presidio (*Atherinella crystallina*), que se encuentra extirpado del arroyo Cuchujaqui, subcuenca del río Álamos.

Es evidente que las modificaciones en los ríos y arroyos destruyen los hábitats y eliminan la fauna y son la causa principal de la extirpación de especies en Sonora. La desecación de los cursos de agua corriente abajo de las presas, la canalización y la transferencia de grandes volúmenes de agua de un lugar a otro, son algunas de las modificaciones que se registran para los ríos sonorenses. Adicionalmente, la estabilización de los regímenes de los flujos

de agua en los sistemas de presas promueve la interrupción de los procesos naturales del río, lo que provoca una alteración en las comunidades naturales. La interrupción de la conectividad de descarga de agua desde las cabeceras hasta la parte baja de los ríos impacta la integridad biológica de la totalidad del río (Meyer *et al.*, 2007). Esta estabilización o desestabilización que resulta de la construcción de diferentes tipos de represas provoca cambios no sólo en la dinámica de las descargas estacionales del agua y su temperatura, sino, además, cambia la disponibilidad de nutrientes. Asimismo, la descarga de sedimentos debido a la erosión y los escurrimientos de contaminantes de diversos tipos son responsables de la alteración de la química y características físicas del agua de los ríos. Los peces nativos tienden a permanecer en los sitios donde las condiciones físicas y químicas de los hábitats son inalteradas o apenas han sido modificadas, por lo que se consideran indicadores de la calidad de los hábitats ribereños. A pesar de no existir información publicada para peces nativos del estado, es presumible la ruptura de patrones conductuales entre especies nativas como la conducta durante el cortejo, en la búsqueda de presas y para la protección de los depredadores, entre otros, promovida por los cambios en la calidad y cantidad de sólidos suspendidos que la contaminación agrícola, minera y urbana promueve en los cuerpos de agua naturales. Rinne y Minckley (1991) mencionan que, a pesar de la similitud de los impactos sobre las cuencas hidrológicas del sur de Estados Unidos y las del norte de México, la menor pérdida de especies nativas que se ha registrado del lado mexicano está relacionada con la escasa abundancia y dispersión de las especies exóticas. En efecto, la introducción y establecimiento de peces exóticos es la opción más plausible de esta diferencia, debido al reemplazo de los peces nativos ocasionado por la competencia por alimento, espacio y otros recursos o, simplemente, porque los peces nativos se convierten en alimento de los peces exóticos. Adicionalmente, mencionan que, en general, las especies nativas de la zona desértica del oeste americano se encuentran en desventaja contra las especies exóti-

cas generalistas provenientes del este del continente, donde las comunidades ícticas son más diversas y mantienen un mayor número de formas carnívoras.

En Sonora se han detectado al menos 26 especies de peces introducidos, cuya presencia denota una condición dinámica y representa una de las principales amenazas para la ictiofauna nativa. Unmack y Fagan (2004) detectaron que el efecto de la invasión de los peces introducidos en la cuenca del río Yaqui en Sonora y Arizona es progresivo y eventualmente afectará en forma negativa la permanencia de las poblaciones de peces nativos. Esta cuenca, junto con las de los ríos Colorado, Sonoyta y Gila, ha recibido el mayor número de introducciones de peces exóticos comparados con el resto del estado. La principal causa directa de la dispersión de peces exóticos son los programas de extensivismo piscícola que han sido y son desarrollados por el gobierno federal, primeramente, y estatal posteriormente, sobre peces de interés comercial para la acuicultura extensiva y la pesca artesanal y deportiva. Las mojarrafricanas de los géneros *Tilapia* y *Oreochromis*, junto con los bagres de canal (*Ictalurus punctatus*) y azul (*I. furcatus*), así como la lobina negra (*Micropterus salmoides*) y la carpa común (*Cyprinus carpio*), son los peces más utilizados para actividades acuícolas. Junto con ellos, las especies medianas y pequeñas utilizadas como forraje de estos peces carnívoros también muestran amplia distribución, como es el caso de las mojarra del género *Lepomis* (*L. cyanellus*, *L. macrochirus*, *L. megalotis*) y *Pomoxis* (*P. annularis* y *P. nigromaculatus*), la sardina del Maya (*Dorosoma petenense*), las carpas dorada (*Carassius auratus*) y roja (*Cyprinella lutrensis*) y el pez mosquito (*Gambusia affinis*). Además, el bagre negro (*Ameiurus melas*) ha sido introducido y diseminado en represas por pobladores locales para su consumo. La mayoría de estos peces son introducidos en embalses y represas donde se llevan a cabo las actividades productivas, de tal forma que representan reservorios de peces exóticos, desde donde éstos suelen dispersarse, con lo que se promueven impactos negativos sobre las poblaciones de peces nativos (Juárez-Romero *et al.*, 1988; Hendrickson y Vare-

la-Romero, 1989; Campoy-Favela *et al.*, 1989; Hendrickson y Juárez-Romero, 1990). En los casos más extremos para Sonora, el porcentaje de especies de peces introducidos por cuenca puede llegar a ser mayor al cincuenta por ciento de la totalidad de las especies ícticas en la cuenca del bajo río Colorado y casi cincuenta por ciento en la cuenca del río Sonoyta (Hendrickson y Varela-Romero, 1989; Varela-Romero *et al.*, 2002). Los principales impactos negativos de los peces introducidos sobre las poblaciones de peces nativos son la competencia, desplazamiento, hibridización y depredación (Contreras-Balderas y Escalante, 1984; Taylor *et al.*, 1984; Moyle *et al.*, 1986; Olden y Poff, 2005). En Sonora, uno de estos impactos se refiere a la posible hibridización de las truchas nativas de los ríos Yaqui y Mayo (*Oncorhynchus* spp.) con la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), utilizada para fines acuiculturales, debido a la existencia de híbridos putativos en la región (Hendrickson y Varela-Romero, 2002; Hendrickson *et al.*, 2002; Camarena-Rosales *et al.*, 2007). Se conoce también, por recolectas en la cuenca del río Yaqui durante los años ochenta y noventa, de la existencia actual de híbridos entre el bagre yaqui y el de canal (Hendrickson *et al.*, 1981; Campoy-Favela *et al.*, 1989). La presencia de este bagre hermano introducido, interactuando con el bagre yaqui, representa una seria amenaza para las poblaciones de bagres nativos. Adicionalmente, la introducción indirecta de parásitos asociados a la ictiofauna exótica se suma a las infecciones naturales de los parásitos nativos sobre sus huéspedes, lo que provoca, en algunos casos, drásticas reducciones en los niveles poblacionales de la ictiofauna nativa (Campoy-Favela *et al.*, 1989; Hendrickson y Juárez-Romero, 1990). Es importante considerar que hasta este momento los impactos ocasionados por las especies introducidas deberán adicionarse a los factores existentes en el sistema de alteraciones que actúan en los hábitats naturales de las cuencas hidrológicas del estado. Sin embargo, el efecto real de las especies exóticas sobre las nativas no se ha evaluado de manera experimental en campo para hacer esta inferencia científica en Sonora, por lo

que urge la necesidad de desarrollar este tipo de estudios para valorar y precisar los impactos de esta fauna no nativa.

Amenazas sobre la ictiofauna de Sonora

Los principales factores que impactan a las poblaciones de peces nativos son la utilización inadecuada de los recursos hidrológicos destinados a las actividades productivas, como son las agropecuarias, mineras, industriales y domésticas, las alteraciones físicas de los hábitats naturales por la construcción de presas, repesos, caminos y puentes, el incremento en el uso de agentes contaminantes y la introducción de especies de peces exóticos (Meffe y Vrijenhoek, 1988; Varela-Romero, 1995). En fechas recientes se han propuesto varios proyectos de construcción de presas con el propósito de incrementar en número las más de 25 construidas en cauces naturales de ríos y arroyos en Sonora, lo que elevaría el número de hectáreas de hábitats lóticos artificiales en el estado. Estos esfuerzos pretenden principalmente almacenar agua para las actividades agropecuarias, mineras y domésticas. Adicionalmente, el agua del subsuelo es utilizada para apoyar estas actividades productivas, lo que ocasiona la disminución del manto freático, con la consecuente reducción de las aguas epicontinentales en todo el estado y la muerte de vegetación ribereña debido al abatimiento del nivel freático, lo que, a su vez, provoca la disminución de los hábitats disponibles para peces nativos y de las migraciones naturales al interior de los sistemas hidrológicos.

Las actividades agropecuarias intensivas se encuentran generalmente localizadas en las partes bajas de las cuencas hidrológicas y las mineras se localizan en las regiones de mediana y alta elevación, con lo que se provoca un efecto sinérgico en la dinámica de los impactos. Dependiendo de la zona de que se trate, el pastoreo por ganado es una actividad registrada con un impacto desde moderado localizado hasta devastador en el noroeste de México. Este factor contribuye directamente a la eliminación de la vegetación ribereña, la compac-

tación del suelo por pisoteo, la erosión de los bancos de los arroyos, el aumento en la sedimentación y, consecuentemente, la modificación de la morfología del canal, todo lo cual diezma la calidad del hábitat de la especie. Los impactos de la contaminación por la industria minera han sido recientemente documentados para las cuencas de los ríos Sonora y San Pedro en Sonora (Gómez-Álvarez *et al.*, 1990 y 2004), además de que son un factor constante en la mayor parte de la zona serrana, donde se desarrollan niveles de extracción minera desde artesanal hasta industrial. La acuicultura extensiva en cuerpos de agua artificiales como presas y repesos es el vector directo de la entrada de peces exóticos en los ecosistemas naturales. En los reservorios del estado, por medio de programas gubernamentales, se han liberado millones de juveniles de peces de interés comercial para apoyo a las actividades económicas y de subsistencia. La camaricultura es una actividad productiva de reciente creación en el estado que ha tenido un desarrollo explosivo en la zona costera. Su crecimiento ha generado cambios en los hábitats de las zonas de influencia estuarina en las partes bajas de las cuencas de los ríos, lo que ha afectado la fauna de peces secundarios y periféricos y se suma a la problemática existente para los peces nativos (Husdon *et al.*, 2005). Además, aunque local, el impacto de la contaminación urbana por medio de desechos urbanos no deja de estar presente en Sonora. El vertimiento de aguas de drenajes urbanos, la modificación de los hábitats ribereños y la contaminación por desechos sólidos son los impactos más generalizados. No obstante, la mayoría de los asentamientos humanos principales están localizados en la parte baja de las cuencas, donde los ríos principales se convierten en efímeros, por lo que el impacto es mínimo para la fauna nativa, a excepción de los ríos de la Concepción, Sonora, Yaqui y Mayo.

ESTATUS DE CONSERVACIÓN DE LOS PECES NATIVOS DE SONORA

En Sonora, como en otros estados de la franja ári-

da de Norteamérica, el desarrollo económico ha impulsado una creciente demanda de los ya escasos recursos hidrológicos. Esta situación ha ocasionado modificaciones en la mayoría de las cuencas de la región, lo que ha traído como consecuencia la destrucción y reducción de los hábitats acuáticos naturales y ha afectado la distribución de las poblaciones de peces nativos. Dentro de las especies ícticas con distribución actual para Sonora, 33.3% (tabla 2) se encuentra incluida bajo alguna categoría de protección de acuerdo al gobierno mexicano (NOM-059 2001). Ocho son las especies en peligro de extinción, diez se consideran amenazadas y cuatro se incluyen como sujetas a protección especial. Actualmente, esta NOM-059 se encuentra en revisión y se espera obtener una lista más acertada de los estatus de conservación de las

especies incluidas en este listado nacional. De esta iniciativa, se propone para Sonora la recategorización de cinco especies ya mencionadas aquí como extirpadas de las cuencas de los ríos Colorado y Gila, y consideradas en la NOM vigente en las categorías de «sujeta a protección especial y en peligro de extinción» (tabla 2), las cuales deben de considerarse en la categoría de extirpadas del territorio nacional (Varela-Romero y Ruiz-Campos, 2002).

Para el resto de las especies nativas cuyo estado de conservación es ya conocido pero no ha sido reconocido en la NOM-059, será necesario proponer al gobierno federal su integración a esta lista de manera independiente y de acuerdo a la metrología publicada en la propia Norma Oficial (NOM-059 2001). Entre este grupo de especies que se ha descrito, o se le ha reconocido nombre válido recién-

Tabla 2. Peces nativos de Sonora incluidos en la NOM-059-ECOL-2001 (NOM-059 2001) y propuesta de inclusión en la nueva NOM-059*

Familia	Especie	Categoría federal	Distribución en el país	Situación Actual/Propuesta
Cyprinidae	<i>Agosia (Rhinichthys) chrysogaster</i>	A	No endémica	A
Cyprinidae	<i>Cyprinella formosa</i>	A	No endémica	A
Cyprinidae	<i>Cyprinella ornata</i>	A	Endémica	–
Cyprinidae	<i>Gila ditaenia</i>	A	No endémica	A
Cyprinidae	<i>Gila elegans</i>	P	No endémica	Ex*
Cyprinidae	<i>Gila intermedia</i>	P	No endémica	P
Cyprinidae	<i>Gila purpurea</i>	P	No endémica	P
Cyprinidae	<i>Gila robusta</i>	Pr	No endémica	Ex*
Cyprinidae	<i>Rhinichthys cobitis</i>	P	No endémica	Ex*
Cyprinidae	<i>Rhinichthys osculus</i>	P	No endémica	Ex*
Cyprinidae	<i>Ptychocheilus lucius</i>	E	No endémica	Ex
Catostomidae	<i>Catostomus bernardini</i>	Pr	No endémica	–
Catostomidae	<i>Catostomus cabita</i>	A	Endémica	A
Catostomidae	<i>Catostomus insignis</i>	P	No endémica	P
Catostomidae	<i>Catostomus leopoldi</i>	Pr	Endémica	A*
Catostomidae	<i>Catostomus plebeius</i>	A	No endémica	–
Catostomidae	<i>Catostomus wigginsi</i>	A	Endémica	A
Catostomidae	<i>Xyrauchen texanus</i>	P	No endémica	E*
Cyprinodontidae	<i>Cyprinodon macularius</i>	P	No endémica	P
Ictaluridae	<i>Ictalurus pricei</i>	Pr	No endémica	P*
Poeciliidae	<i>Poecilia butleri</i>	A	No endémica	–
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis occidentalis</i>	A	No endémica	–
Poeciliidae	<i>Poeciliopsis latidens</i>	A	No endémica	–

Nota: Ex = Extirpada, P = En peligro de extinción, A = Amenazada, Pr = Sujeta a protección Especial.

temente, se encuentran *Gila minacae*, *Poeciliopsis sonoriensis* y *Cyprinodon eremus* (Echelle *et al.*, 2000; Miller *et al.*, 2005), que se suman a las especies no incluidas en la NOM con distribución relicta de sus poblaciones en Sonora y que se requieren evaluar para reconocer su estatus de conservación. Adicionalmente, existen especies que aún no se han descrito que requieren ser formalmente reconocidas en términos taxonómicos y nomenclaturales y eventualmente incluirlas en el listado nacional. Para el caso de los salmónidos de Sonora, por medio del ADN mitocondrial la trucha del género *Oncorhynchus* que habita la cuenca del río Yaqui en Sonora se ha reconocido como una forma muy cercana a la trucha arcoiris (Nielsen, 1996 y 1997; Nielsen *et al.*, 1997 y 1998). Sin embargo, estudios complementarios de fragmentos del genoma mitocondrial y la morfología de las truchas nativas de la Sierra Madre Occidental reconocen su identidad específica y sugieren a esta especie como nativa de las cuencas de los ríos Yaqui y Mayo (Ruiz-Campos *et al.*, 2003; Camarena-Rosales *et al.*, 2007). A pesar de esto, es evidente que aún faltan estudios para su definición taxonómica y para el esclarecimiento de los impactos promovidos por la potencial hibridización con la trucha arcoiris, lo cual, aunado a la reducción de sus hábitats y a las modificaciones descritas para otros peces nativos, amenaza su sobrevivencia. Para los ciprínidos, Hendrickson y Minckley (Miller *et al.*, 2005, datos sin publ.) han restringido la distribución de *R. chryso-gaster* a las cuencas de los ríos Gila, Sonoyta, Concepción y Sonora en Sonora y Arizona debido a que reconocen la existencia de una nueva especie, *Rhinichthys* sp., para las cuencas de los ríos Yaqui, Mayo y Fuerte. Esta disminución en la extensión de la distribución original conocida para estas especies representa un incremento en el grado de amenaza de las poblaciones para ambas especies. De la misma forma, Miller *et al.* (2005) reconoce la existencia de *Cyprinella* n. sp., restringida a la subcuenca del río Bavispe y separándola de la distribución de *C. ornata* que se extiende hacia el sur a la subcuenca del río Papigochic hasta el río San Pedro Mezquital en Durango, con lo que se incre-

menta en consecuencia el grado de amenaza para ambas especies. Finalmente, en relación al bagre yaqui, *Ictalurus pricei*, y su complejo de formas similares, originalmente reconocidos para los ríos tributarios de la vertiente Pacífico de la Sierra Madre Occidental, se ha observado por medio de estudios de genes mitocondriales que representan al menos una unidad evolutiva independiente y se ha restringido su distribución a los ríos Yaqui, Mayo y Fuerte (Varela-Romero, 2007). Los estudios descritos anteriormente sin duda orientan las necesidades de conservación hacia la necesidad de generar conocimiento sobre la historia natural, el origen y la evolución de estas especies.

PERSPECTIVAS DE CONSERVACIÓN

Las perspectivas de conservación para los recursos ictiofaunísticos de la región no parecen ser muy favorables debido a los impactos actuales producto de las actividades económicas y las tendencias del desarrollo humano. Esta influencia lleva a las poblaciones de peces nativos a una constante disminución de sus poblaciones, lo que las coloca bajo una seria amenaza de desaparecer, en virtud de la cada vez menor disponibilidad de agua para su sobrevivencia. Sonora es un estado principalmente árido, donde las actividades socioeconómicas sustanciales están directamente relacionadas con el recurso hídrico. Esta característica enfatiza las modificaciones antropogénicas en todas las cuencas hidrológicas de la región, lo que ocasiona la reducción de hábitats naturales y de las distribuciones de las poblaciones de peces nativos. Estas modificaciones han sido más severas en las zonas de mayor aridez del estado, que se ubican en el Desierto Sonorense, desde el bajo río Colorado hasta el río Mátape y, además, en la porción sur de los ríos Yaqui y Mayo, a diferencia de las zonas serranas, cuya mayor elevación, inaccesibilidad y precipitación, propician una menor intensidad en los impactos y se observan menos modificadas.

En Sonora no existe un programa formal sobre la conservación y el manejo de la ictiofauna dulcea-

cuícola. La protección de las especies se da teóricamente por la inclusión de algunas de estas especies en el listado nacional para la protección ambiental de especies nativas de México (NOM-059 2001) y por las medidas de mitigación de los impactos que es necesario considerar en los nuevos desarrollos económicos destinados a zonas naturales donde estas especies se distribuyen. Además, algunas porciones de ríos y arroyos se encuentran dentro de áreas naturales protegidas de carácter federal y algunas de ellas contemplan programas de estudio, conservación y protección específica para sólo pocas especies de peces nativos. *C. macularius* se encuentra en las reserva de la biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, *C. eremus* en la del Pinacate y Gran Desierto de Altar y varias especies de pecílidos, ciprínidos, el bagre yaqui y la mojarra sinaloense en el área de protección de flora y fauna silvestres Sierra de Álamos y Arroyo Cuchujaqui en Sonora. Estas áreas naturales protegidas consideran programas de protección, manejo y conservación de estas especies pero con limitados recursos económicos para su implementación (Conanp, 2007). Se han desarrollado algunos esfuerzos para mantener poblaciones reproductivas de resguardo de peces nativos bajo alguna categoría de conservación. Una población del cachorrillo del Sonoyta (*Cyprinodon eremus*) ha sido mantenida en repesos artificiales dentro del Centro Ecológico de Sonora en Hermosillo con fines de conservación. Adicionalmente, se han realizado esfuerzos coordinados de rescate y conservación del bagre yaqui por parte del Servicio de Peces y Vida Silvestre de Estados Unidos, el Departamento de Caza y Pesca de Arizona y el Centro Ecológico de Sonora en las décadas de 1980 y 1990, con el objetivo de confinar una población reproductiva de bagre yaqui en instalaciones de granjas reproductoras de peces en peligro de extinción en Estados Unidos y repoblar su distribución natural a ambos lados de la frontera. Este esfuerzo permitió la obtención de ejemplares utilizados para la repoblación de hábitat controlado dentro de su distribución en la cuenca del río Yaqui en el sur de Arizona. Sin embargo, el *stock* reproductivo murió y ya

no se cuenta con esta línea base para la recuperación de la especie (Varela-Romero *et al.* en dict. para publ.).

NECESIDADES DE RECOLECTA E INVESTIGACIÓN

La importancia de las especies nativas puede evaluarse de diferentes puntos de vista como son la investigación científica necesaria para el conocimiento de la diversidad íctica, su historia y evolución y el papel de los peces en los ecosistemas. Además, sus usos como alternativas en la pesca comercial y deportiva, así como en la acuicultura y el acuarismo y su potencial como control biológico son parte de la utilidad práctica que el propio desarrollo humano demanda de estos recursos. Dentro de la investigación básica, muchas son las deficiencias de información sobre los peces nativos de Sonora. Se requieren estudios para el conocimiento de su origen, evolución y biogeografía, así como de la sistemática y taxonomía, basados en marcadores moleculares y caracteres morfológicos. Su historia natural está pobremente documentada a todos los niveles para la mayoría de las especies en aspectos básicos como distribución y abundancia, ciclos de vida, alimentación y requerimientos ambientales, además de la falta de estudios de carácter ecológico para establecer la estructura y función de esta singular ictiofauna en los ecosistemas acuáticos. Para la generación y fomento de pesquerías comerciales y deportivas sobre peces nativos, algunas especies como el bagre yaqui, la trucha yaqui y la mojarra sinaloense tienen un papel importante, ya que especies exóticas muy similares a ellas son utilizadas para soportar estas actividades comerciales, sin contar con la plusvalía que el carácter de endemismo les otorga. Estas especies presentan un potencial aún desconocido para la acuicultura extensiva en el noroeste de México. Adicionalmente, algunas especies como el cachorrillo del desierto y del Sonoyta, las sardinitas yaqui y adornada, el rodapiedras mexicano y el topote del Pacífico, presentan un potencial de uso

para el comercio como mascotas en acuarios. Este uso a futuro debe estar eficazmente regulado por las autoridades federales y estatales para controlar y evitar la transferencia de especies entre cuencas ocasionada por la liberación de mascotas en hábitats naturales y el posible impacto derivado de ésta entre poblaciones nativas e introducidas. Un uso poco evidente que han presentado los peces nativos a lo largo del desarrollo humano es la investigación básica. Aspectos importantes sobre tolerancia térmica, salinidades y procesos evolutivos de las especies como modelos de evolución con base en la información genética y ecológica de la especie, han sido estudiados en peces nativos de fácil manejo en acuarios, como el pez cachorrillo del desierto y los guatopotes de Sonora, del Mayo y del Mocerito en el sur de la entidad. Una breve síntesis del estado del arte del conocimiento de la diversidad genética de los peces nativos de Sonora se incluye en el capítulo diversidad genética de la biota de Sonora de este libro (Molina-Freaner *et al.*, en este vol.).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer las facilidades otorgadas por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo para la elaboración de este manuscrito, especialmente a la doctora Gloria Yépez Plascencia, directora del programa de estudios de doctorado del primer autor, por la revisión crítica a este manuscrito, así como a los doctores Gorgonio Ruiz Campos y Francisco García de León por sus críticas y sugerencias. Agradecemos también a los editores de este libro la invitación a contribuir con el presente capítulo y las sugerencias aportadas para mejorar la versión inicial. El primer autor agradece a las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este manuscrito.

LITERATURA CITADA

ÁLVAREZ DEL VILLAR, J. 1970. *Peces mexicanos (claves)*.

- Serie Investigación Pesquera Estudio 1. Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras, México, 166 p.
- ARAIZA, Q.H. 1982. Notas sobre la hidrología de Sonora. Universidad Autónoma de Sinaloa. *Revista Ciencias del Mar* 3: 18-21.
- BARTLETT, J.P. 1854. *Personal Narrative of Explorations and Incidents in Texas, New Mexico, California, Sonora, and Chihuahua Connected with the U.S. and Mexican Boundary Commission During the Years of 1850, '51, '52 and '53*. vols. I y II. D. Appleton, Nueva York.
- BLÁSQUEZ, L.L. 1959. Hidrogeología de las regiones desérticas de México. *Anales del Instituto de Geología* 15: 1-172.
- BRANSON, B.A., C.J. MCCOY JR. y M.E. SISK. 1960. Notes on the Freshwater Fishes of Sonora, with Addition to the Known Fauna. *Copeia* 1960: 217-220.
- BROWN, D.E. 1994. *Biotic communities: Southwestern United States and Northwest Mexico*. University of Utah Press. Salt Lake City, Utah.
- BURR, B.M. 1976. A Review of the Mexican Stoneroller, *Campostoma ornatum* Girard (Pisces: Cyprinidae). *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 18: 127-144.
- CAMARENA-ROSALES, F., G. RUIZ-CAMPOS, J. DE LA ROSA, R. MANDEN, D.A. HENDRICKSON, A. VARELA-ROMERO y F. GARCÍA DE LEÓN. 2007. Mitochondrial Haplotype Variation in Wild Trout Populations (Teleostei: Salmonidae) from Northwest Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 2-3: 157-165.
- CAMPOY-FAVELA, J., A. VARELA-ROMERO y L. JUÁREZ-ROMERO. 1989. Observaciones sobre la ictiofauna nativa de la cuenca del río Yaqui, Sonora, México. *Ecológica* 1: 1-29.
- CASTRO-AGUIRRE, J.L. 1978. *Catálogo sistemático de los peces que penetran a las aguas continentales de México con aspectos zoogeográficos y ecológicos*. Serie Científica 19. Instituto Nacional de la Pesca, 298 p.
- CASTRO-AGUIRRE, J.L., J. SCHMITTER-SOTO y H. ESPINOSA-PÉREZ. 1999. *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Limusa, México.
- CHERNOFF, B. y R.R. MILLER. 1982. *Notropis bocagrande*, a New Cyprinid Fish from Chihuahua, México, with Comments on *Notropis formosus*. *Copeia* 3: 514-522.
- CONANP. 2007. *Programas de manejo*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (<http://www.conanp.gob.mx/anp/pcm.php>).

- CONTRERAS-BALDERAS, S. 1978. Speciation Aspects and Man Made Community Changes in Chihuahuan Desert Fishes. En: R.H. Waver y D.H. Riskind, eds. *Transactions Research Chihuahuan Desert Region U.S. Mexico*. USDI, National Park Service, pp. 405-431.
- CONTRERAS-BALDERAS, S. y M. ESCALANTE. 1984. Distribution and Known Impacts of Exotic Fishes in México. En: W.R. Courtenay Jr. y J.R. Stauffer Jr., eds. *Distribution, Biology and Management of Exotic Fishes*. The John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, pp. 102-130.
- DEACON, J.E. y W.L. MINCKLEY. 1974. Desert Fishes. En: Brown, G.W., ed. *Desert Biology*. Vol. 2. Academic Press. Nueva York-Londres, pp. 385-488.
- DEMARAIS, B. y W.L. MINCKLEY. 1991. *Gila eremica*, a New Cyprinid Fish from Northwestern Sonora, México. *Copeia* 1: 178-189.
- EHELLE, A.A., R.A. VAN DEN BUSSCHE, T.P. MALLOY JR., M.L. HAYNIE y C.O. MINCKLEY. 2000. Mitochondrial DNA Variation in Pupfishes Assigned to the Species *Cyprinodon macularius* (Atherinomorpha: Cyprinodontidae): Taxonomic Implications and Conservation Genetics. *Copeia* 2: 353-364.
- EMORY, W.H. 1848. Notes of a Military Reconnaissance from Fort Leavenworth, in Missouri, to San Diego, in California, Including Parts of the Arkansas, and Gila Rivers. Thirtieth Congress, First Session, Executive Document 41: 15-126.
- EMORY, W.H. 1857. Report on the United States and Mexican Boundary Survey. U.S. Congress, First Session, A.O.P. Nicholson for the United States Government, Washington, D.C.
- ENGSTAND, I.H.W. 1981. *Spanish Scientist in the New World: The Eighteen-Century Expeditions*. University of Washington, Seattle.
- ESPINOSA-PÉREZ, H., M.T. GASPAS y P. FUENTES-MATA. 1993. *Listados faunísticos de México. III. Los peces dulceacuícolas mexicanos*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- FOLLETT, W.I. 1960. The Freshwater Fishes-Their Origins and Affinities. *Systematic Zoology* 9: 212-232.
- GIRARD, C. 1854. Descriptions of New Fishes, Collected by Dr. A.L. Heerman, Naturalist Attached to the Survey of the Pacific Railroad Route, Under Lt. R.S. Williamson, USA. *Proceedings of the National Academy of Science of Philadelphia* 8: 165-218.
- GIRARD, C. 1856. Research Upon the Cyprinoid Fishes Inhabiting the Fresh Waters of the United States of America, West of the Mississippi Valley, from Specimens in the Museum of the Smithsonian Institution. *Proceedings of the National Academy of Science of Philadelphia* 8: 165-213.
- GIRARD, C. 1859. Ichthyology of the Boundary. U.S.-Mex. *Boundary Survey* 2(2): 1-85.
- GÓMEZ-ÁLVAREZ, A., A. VILLALBA-ATONDO, G. ACOSTA-RUIZ, M. CASTAÑEDA-OLIVARES y D. KAMP. 2004. Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro durante 1997 y 1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 20: 1-8.
- GÓMEZ-ÁLVAREZ, A., M.T. DE J. YOCUPICIO-ANAYA y P. ORTEGA-ROMERO. 1990. Niveles y distribución de metales pesados en el río Sonora y su afluente el río Bacanuchi, Sonora, México. *Ecológica* 1: 10-20.
- HEDRICK, P.W., R.N. LEE y C.R. HURT. 2006. The Endangered Sonoran Topminnow: Examination of Species and ESUs Using Three mtDNA Genes. *Conservation Genetics* 7: 483-492.
- HENDRICKSON, D.A. 1984. Distribution Records of Native and Exotic Fishes in the Pacific Drainages of Northern México. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Sciences* 18: 33-38.
- HENDRICKSON, D.A. 1987. *Geographic Variation in Morphology of *Agosia chrysoaster*, a Sonoran Desert Cyprinid Fish*. Tesis doctoral, Arizona State University, Tempe, Arizona, 138 p.
- HENDRICKSON, D.A., H. ESPINOSA, L. FINDLEY, W. FORBES, R. MAYDEN, J. NELSEN, B. JENSEN, G. RUIZ-CAMPOS, J. TOMELLERI, A. VAN DER HEIDEN, A. VARELA-ROMERO, F. CAMARENA y F. GARCÍA DE LEÓN. 2002. Mexican Native Trouts: A Review of their History and Current Status. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 2-3: 273-316.
- HENDRICKSON, D.A., W.L. MINCKLEY, R.R. MILLER, D.J. SIEBERT y P.H. MINCKLEY. 1981. Fishes of the Río Yaqui Basin, México and United States, *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Sciences* 15: 65-106.
- HENDRICKSON, D.A. y A. VARELA-ROMERO. 1989. Conservation Status of Desert Pupfish, *Cyprinodon macularius* in México and Arizona. *Copeia* 2: 478-483.
- HENDRICKSON, D.A. y A. VARELA-ROMERO. 2002. Fishes of the Río Fuerte Drainage. En: M.L. Lozano-Vilano, ed. *Libro jubilar en honor al Dr. Salvador Contreras Balderas*, Univesidad Autónoma de Nuevo León, México, pp. 172-195.
- HENDRICKSON, D.A. y L. JUÁREZ-ROMERO. 1990. Los peces de la cuenca del río de la Concepción, Sonora, México, y el estatus del charalito sonorensis, *Gila*

- ditaenia*, una especie en amenaza de extinción. *Southwestern Naturalist* 35: 177-187.
- HOLDEN, P.B. 1980. *Gila elegans* Baird and Girard, Bonytail Chub. En: D.S. Lee, C. Gilbert, Ch. Hocutt, R. Jenkins y McAllister, eds. *Atlas of North American Fresh Water Fishes*. North Carolina State Museum of Natural History, Raleigh, North Carolina, p. 167.
- HUBBS, C.L. y R.R. MILLER. 1941. *Dorosoma smithi*, the First Known Gizzard Shad from the Pacific Drainage of Middle America. *Copeia* 4: 232-238.
- HUDSON, P.F., D.A. HENDRICKSON, A.C. BENKE, A. VARELA-ROMERO, R. RODILES-HERNÁNDEZ y W.L. MINCKLEY. 2005. Rivers of Mexico. En: A.C. Benke y C.E. Cushing, eds. *Rivers of North America*. Elsevier Academic Press, Toronto, Canadá.
- INEGI. 1991. *Síntesis de información geográfica del estado de Sonora*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- JORDAN, D.S. y B.W. EVERMANN. 1896. The Fishes of North and Middle America. *Bulletin of the United States Natural Museum* 47(1-4): 1-3313.
- JORDAN, D.S. y C.H. GILBERT. 1882. Synopsis of the Fishes of North America. *Bulletin of the United States Natural Museum* 16: 1-1018.
- JUÁREZ-ROMERO, L., A. VARELA-ROMERO y J. CAMPOY-FAVELA. 1988. Observaciones preliminares sobre la ictiofauna de la cuenca del río Mátape, Sonora, México. *Memorias del X Congreso Nacional de Zoología*. Villahermosa, Tabasco, México, pp. 27-33.
- JUÁREZ-ROMERO, L., A. VARELA-ROMERO y J. CAMPOY-FAVELA. 1989. The Rio Sonoyta Basin and its ichthyofauna in the Pinacate Reserve: Study and Conservation. *Memorias del Simposio de Investigación sobre la zona ecológica de El Pinacate*, Hermosillo, Sonora, México.
- LUNDBERG, J.G. 1992. The Phylogeny of Ictalurid Catfishes: A Synthesis of Recent Work. En: R.L. Mayden, ed. *Systematics, Historical Ecology and North American Freshwater Fishes*. Stanford University Press, California, pp. 392-420.
- LYNCH, D.J. 1981. Trachytes and Alkali Basalts of Pinacate Volcanic Fields of Northwest Sonora, Mexico, their Ages, Composition, and Morphologies. *Geological Society of America* 19: 1-113.
- MATEOS, M., O.I. SANJUR y R.C. VRIJENHOEK. 2002. Historical Biogeography of the Fish Genus *Poeciliopsis* (Cyprinodontiformes) *Evolution* 56: 972-984.
- MAY, L.A. 1976. *Fauna de vertebrados de la región del Gran Desierto Sonora, México*. Serie Zoológica 47. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 143-182.
- MCMAHON, T.E. y R.R. MILLER. 1985. Status of the Fishes of the Rio Sonoyta Basin, Arizona and Sonora, México. *Proceedings of the Desert Fishes Council* 14: 53-59.
- MCNATT, R.M. 1974. Re-evaluation of the Native Fishes of the Rio Yaqui in the United States. *Proceedings of the Annual Conference of Western Association State Game Fish Commission* 54: 273-279.
- MCVAUGH, R. 1977. Botanical Results of the Sessé and Mociño Expedition (1797-1803). Summary of Excursions and Travels. *Contribution MI Herbarium Herbarium* 11: 97-196.
- MEAD, J.I., A. BAEZ, S.L. SWIFT, M.C. CARPENTER, M. HOLLENSHEAD, N.J. CZAPLEWSKI, D.W. STEADMAN, J. BRIGHT y J. ARROYO-CABRALES. 2006. Tropical Marsh and Savanna of the Late Pleistocene in Northeastern Sonora, Mexico. *Southwestern Naturalist* 51: 226-239.
- MEEK, S.E. 1903. Distribution of the Fresh-Water Fishes of México. *American Naturalist* 37: 771-784.
- MEEK, S.E. 1904. The Fresh Water Fishes of México North of the Isthmus of Tehuantepec. *Field Columbian Museum of Zoology Series* 5: 1-252.
- MEFFE, G.K. y R. VRIJENHOEK. 1988. Conservation Genetics in the Management of Desert Fishes. *Conservation Biology* 2: 157-169.
- MEYER, J.L., D.L. STRAYER, J.B. WALLACE, S.L. EGGERT, G.S. HELFMAN y N.E. LEONARD. 2007. The Contribution of Headwater Streams to Biodiversity in River Networks. *Journal of the American Water Resources Association* 43(1): 86-103.
- MILLER, R.R. 1943. The Status of *Cyprinodon macularius* and *Cyprinodon nevadensis*, Two Desert Fishes of Western North America. University of Michigan. *Occasional Papers of the Museum of Zoology* 473: 1-25.
- MILLER, R.R. 1945. A New Cyprinid Fish from Southern Arizona, and Sonora, México, with the Description of a New Subgenus of *Gila* and a Review of Related Species. *Copeia* 1945: 104-110.
- MILLER, R.R. 1950. Notes on the Cutthroat and Rainbow Trouts with Description of a New Species from the Gila River, New Mexico. University of Michigan. *Occasional Papers of the Museum of Zoology* 529: 1-42.
- MILLER, R.R. 1952. Bait Fishes of the Lower Colorado River from Lake Mead, Nevada, to Yuma, Arizona, with a Key for their Identification. *California Fish and Game* 38: 7-42.

- MILLER, R.R. 1959. Origins and Affinities of the Fresh Water Fish Fauna of Western North America. En: C.L. Hubbs, ed. *Zoogeography*. American Association of Advances in Science 51, pp. 187-222.
- MILLER, R.R. 1960. Four New Species of Viviparous Fishes, Genus *Poeciliopsis* from northwestern México. University of Michigan. *Occasional Papers of the Museum of Zoology* 619: 1-11.
- MILLER, R.R. 1961. Man and the Changing Fish Fauna of the American Southwest. *Papers of the Michigan Academy of Sciences, Arts and Letters* 46: 365-404.
- MILLER, R.R. 1966. Geographical Distribution of Central American Freshwater Fishes. *Copeia*: 773-801.
- MILLER, R.R. 1976. An Evaluation of Seth E Meek's Contributions to Mexican Ichthyology. *Fieldiana Zoologica* 69: 1-31.
- MILLER, R.R. 1986. Composition and Derivation of the Freshwater Fish Fauna of México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional* 30: 121-153.
- MILLER, R.R., W.L. MINCKLEY y S. NORRIS. 2005. *Freshwater Fishes of Mexico*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- MILLER, R.R. y H.E. WINN. 1951. Additions to the Known Fish Fauna of México: Three Species and One Subspecies from Sonora. *Journal of the Washington Academy of Sciences* 4: 83-84.
- MILLER, R.R. y L.E. FUIMAN. 1987. Description and Conservation Status of *Cyprinodon macularius eremus*, a New Subspecies of Pupfish from Organ Pipe Cactus National Monument, Arizona. *Copeia* 3: 593-609.
- MINCKLEY, W.L. 1973. *Fishes of Arizona*. Arizona Game and Fish Department, Phoenix, Arizona.
- MINCKLEY, W.L. 1979. *Aquatic Habitats and Fishes of the Lower Colorado River, Southwestern United States*. Final Report to the U.S. Bureau of Reclamation, Boulder City, NV. Arizona State University, Tempe, Arizona.
- MINCKLEY, W.L. 1980. *Tiaroga cobitis* Girard, Loach Minnow. En: D.S. Lee, C. Gilbert, Ch. Hocutt, R. Jenkins y McAllister, eds. *Atlas of North American Freshwater fishes*. North Carolina State Museum of Natural History, Raleigh, North Carolina, p. 365.
- MINCKLEY, W.L. 1982. Trophic Interrelations Among Introduced Fishes in the Lower Colorado River, Southwestern United States. *California Fish and Game* 68: 78-89.
- MINCKLEY, W.L. 1985. *Native Fishes and Natural Aquatic Habitats of U.S. Fish and Wildlife Service Region II, West of the Continental Divide*. Final Report for U.S. Fish and Wildlife Service-Arizona State University Interagency Personnel Act Agreement. Arizona State University, Tempe.
- MINCKLEY, W.L., D.A. HENDRICKSON y C.E. BOND. 1986. Geography of Western North American Freshwater Fishes; Description and Relations to Intracontinental Tectonism. En: C.H. Hocutt, y E.O. Wiley, eds. *Zoogeography of Freshwater Fishes of North America*. Wiley Interscience, Nueva York, pp. 519-614.
- MINCKLEY, W.L., D.A. HENDRICKSON y D. J. SIEBERT. 1980. Additional Records for the Pacific Gizzard Shad, *Dorosoma smithi* (Clupeidae), from Sonora, México. *Southwestern Naturalist* 24: 695-697.
- MINCKLEY, W.L., R.R. MILLER y S. M. NORRIS. 2002. Three New Pupfish Species, *Cyprinodon* (Teleostei, Cyprinodontidae) from Chihuahua, México, and Arizona, USA. *Copeia* 3: 687-705.
- MINCKLEY, W.L. y B.D. DEMARAIS. 2000. Taxonomy of Chubs (Teleostei, Cyprinidae, genus *Gila*) in the American Southwest with Comments on Conservation. *Copeia* 1: 251-256.
- MINCKLEY, W.L. y D.E. BROWN. 1982. Wetlands. En: D.E. Brown, ed. *Biotic Communities of the American Southwest-United States and México*. Desert Plants 4(1-4). pp. 222-287.
- MINCKLEY, W.L. y J.E. DEACON. 1968. Southwestern Fishes and the Enigma of «Endangered Species». *Science* 159: 1424-1432.
- MINCKLEY, W.L. y J.E. DEACON. 1991. *Battle Against Extinction: Native Fish Management in the American Southwest*. The University of Arizona Press, Tucson y Londres.
- MINCKLEY, W.L. y W.E. BARBER. 1970. Some Aspects of the Biology of the Longfin Dace, a Cyprinid Fish Characteristic of Streams in the Sonoran Desert. *Southwestern Naturalist* 15: 459-464.
- MOORE, W.S., R.R. MILLER y R.J. SCHULTZ. 1970. Distribution, Adaptation, and Probable Origin of an All-Female Form of *Poeciliopsis* (Pisces: Poeciliidae) in Northwestern México. *Evolution* 24: 789-795.
- MOYLE, P.B., H.W. LI y B.A. BARTON. 1986. The Frankenstein Effect: Impact of Introduced Fishes on Native Fishes in North America. En: R.H. Stroud, ed. *Fish Culture in Fisheries Management*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- MOZIÑO, J.M. 1970. Noticias de Nutka: An Account of Nootka Sound in 1792. Traducido y editado por

- I.H. Wilson. University of Washington Press, Seattle-Londres, 141 p.
- NENTVIG, J. 1971. *Descripción geográfica, natural y curiosa de la Provincia de Sonora, por un amigo del servicio de Dios y de el Rey Nuestro Señor*. Publicaciones del Archivo General de la Nación, 2a serie, núm. 1. Talleres Gráficos de la Nación, México, 247 p.
- NIELSEN, J.L. 1996. Using Mitochondrial and Nuclear DNA to Separate Hatchery and Wild Stocks of Rainbow Trout in California and Mexico. En: E.M. Donaldson y D.D. MacKinlay, eds. *Aquaculture Biodiversity Symposium Proceedings*. International Congress on the Biology of Fishes, julio 14-18. San Francisco, California, pp. 139-147.
- NIELSEN, J.L. 1997. Molecular Genetics and Evolutionary Status of the Trout of the Sierra Madre. En: R.E. Gresswell, P. Dwyer y R.H. Hamre, eds. *Wild Trout VI: Putting the Native Back in Wild Trout*. Montana State University, Bozeman, Montana, pp. 103-109.
- NIELSEN, J.L., M. FOUNTAIN, J. CAMPOY-FAVELA, K. COBBLE y B. JENSEN. 1998. *Oncorhynchus* at the Southern Extent of their Range: A Study of mtDNA Control-Region Sequence with Special Reference to an Undescribed Subspecies of *O. mykiss* from Mexico. *Environmental Biology of Fishes* 51: 7-23.
- NIELSEN, J.L., M.C. FOUNTAIN y J.M. WRIGHT. 1997. Biogeographic Analysis of Pacific Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in California and Mexico Based on Mitochondrial DNA and Nuclear Microsatellites. En: T.D. Kocher, y C.A. Stepien, eds. *Molecular Systematics of Fishes*. Academic Press, San Diego, pp. 53-73.
- NOM. 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. NOM-059-ECOL-2001. *Diario Oficial de la Federación*, marzo.
- OLDEN, J.D. y N.L., POFF. 2005. Long-Term Trends of Native and Non-Native Fish Faunas in the American Southwest. *Animal Biodiversity and Conservation* 28.1: 75-89.
- QUATTRO, J.M., J.C. AVISE y R.C. VRIJENHOEK. 1992. Mode of Origin and Sources of Genotypic Diversity in Triploid Gynogenetic Fish Clones (*Poeciliopsis*: Poeciliidae) *Genetics* 130: 621-628.
- RICKETTS, T.H., E. DINERSTEIN, D.M. OLSON, C.J. LOUCKS, W. EICHBAUM, D. DELLA SALA, K. KAVANAUGH, P. HEDAO, P.T. HURLEY, K.M. CARNEY, R. ABELL y S. WALTERS. 1999. *Terrestrial Ecosystems of North America: A Conservation Assessment*. Island Press, Washington, D.C.
- RINNE, J.N. 1976. Cyprinid Fishes of the Genus *Gila* from the Lower Colorado River Basin. Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- RINNE, J.N. y W.L. MINCKLEY. 1991. *Native Fishes of Arid Lands: A Dwindling Resource of the Desert Southwest*. General Technical Report RM-206, Fort Collins, Colorado. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- RUIZ-CAMPOS, G., F. CAMARENA-ROSALES, A. VARELA-ROMERO, S. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ y J. DE LA ROSA-VÉLEZ. 2003. Morphometric Variation of Native Trout Populations from Northwestern Mexico (Pisces: Salmonidae) *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13: 91-110.
- RUIZ-CAMPOS, G. y S. CONTRERAS-BALDERAS. 1987. Ecological and Zoogeographical Check List of the Continental Fishes of the Baja California Peninsula, Mexico. *Proceedings of the Desert Fishes Council* 17: 105-117.
- SIEBERT, D.J. y W.L. MINCKLEY. 1986. Two New Catostomid Fishes (Cypriniformes) from the Northern Sierra Madre Occidental of México. *American Museum Novitates* 2849: 1-17.
- SMITH, G.R. 1981. Late Cenozoic Freshwater Fishes of North America. *Annual Review of Ecology and Systematic* 12: 163-193.
- SNYDER, J.O. 1915. Notes on a Collection of Fishes Made by Dr. Edgar A. Mearns from Rivers Tributary to the Gulf of California. *Proceedings of the United States National Museum* 49: 573-586.
- TAYLOR, J.N. W.R. COURTNEY JR. y J. MCCANN. 1984. Known Impacts of Exotic Fish Introductions in the Continental United States. En: W.R. Courten Jr. y J.R. Stauffer Jr. eds. *Distribution, Biology and Management of Exotic Fishes*. The John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, pp. 322-373.
- UNMACK, P.J. y W.F. FAGAN. 2004. Convergence of Differentially Invaded Systems Toward Invader-Dominance: Time-Lagged Invasions as a Predictor in Desert Fish Communities. *Biological Invasions* 6: 233-243.
- VAN DEVENDER, T.R., A.M. REA y M.L. SMITH. 1985. The Sangammon Interglacial Vertebrate Fauna from Rancho La Brisca, Sonora, México. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 21: 23-55.

- VARELA-ROMERO, A. 1995. *Perspectivas de recuperación y cultivo de peces nativos en el Noroeste de México*. Publicaciones Académicas CICTUS, Serie CM 3, pp. 1-6.
- VARELA-ROMERO A. 2007. Variación genética mitocondrial en bagres del género *Ictalurus* (Pises: Ictaluridae) en el noroeste de México. Tesis de doctorado en ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Hermosillo, Sonora, México, 204 p.
- VARELA-ROMERO, A., D.A. HENDRICKSON, G. YEPIZ-PLASCENCIA, J.E. BROOKS y D.A. NELLY. En dictamen para publicación. Current Conservation Status of the Yaqui Catfish in the United States and Northwest México. *Southwestern Naturalist*.
- VARELA-ROMERO, A., G. RUIZ-CAMPOS, L.M. YÉPIZ-VELÁZQUEZ y J. ALANIZ-GARCÍA. 2002. Distribution, Habitat, and Conservation Status of the Desert Pupfish (*Cyprinodon macularius*) in the Lower Colorado River Basin, Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 2-3: 157-165.
- VARELA-ROMERO, A. y G. RUIZ-CAMPOS. 2002. *Estatus de conservación de los peces dulceacuícolas del PROY-NOM-059-2000 en el noroeste de México: Sonora y Baja California*. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Bases de datos SNIB-Conabio. Proyecto W028. México. (<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/ise/fichas/doctos/peces.html>).
- VRIJENHOEK, R. 1994. Unisexual fish: Model Systems for Studying Ecology and Evolution. *Annual Review in Ecology and Systematics* 25: 71-96.

UNA SINOPSIS DE LA HERPETOFAUNA CON COMENTARIOS SOBRE LAS PRIORIDADES EN INVESTIGACIÓN Y CONSERVACIÓN

ERIK F. ENDERSON,¹ ADRIÁN QUIJADA-MASCAREÑAS,² DALE S. TURNER,³ ROBERT L. BEZY⁴ Y PHILIP C. ROSEN²

RESUMEN. Existen pocos estudios acerca de la herpetofauna de Sonora y como consecuencia el conocimiento y entendimiento de sus anfibios y reptiles es inadecuado. En el presente trabajo presentamos una sinopsis breve de la herpetofauna de Sonora. La documentación de las especies está basada en la revisión de ejemplares de museo, trabajo de campo y referencias publicadas. Hasta el presente se han encontrado 186 especies nativas en Sonora, lo que constituye una diversidad mayor que la que se ha encontrado en los estados circundantes. Los factores que contribuyen principalmente a esta diversidad son la convergencia de la zona Neártica y la Neotropical y un gradiente altitudinal oeste-este. Las prácticas de uso de la tierra a lo largo de la historia y hasta el presente han alterado seriamente los hábitats terrestres y acuáticos y han facilitado la distribución de especies introducidas. Se presentan recomendaciones para la preservación de los ecosistemas nativos y la formación de una institución que promueva la herpetología en Sonora.

ABSTRACT. Few studies of the herpetofauna of Sonora exist and consequently knowledge and understanding of its amphibians and reptiles is inadequate. Here, we provide a brief synopsis and checklist of Sonora's herpetofauna; documenting species presence based on museum specimens, our fieldwork, and published research. At present, 186 native species are found in Sonora, a diversity greater than its neighboring states. Factors contributing to species richness include convergences of Neotropic and Nearctic zones and a west to east elevational gradient. Historical and current land-use practices have significantly altered terrestrial and

aquatic habitats, thus facilitating the distribution of introduced species. Preservation of representative native ecosystems and an institution to promote herpetology in Sonora are strongly recommended.

INTRODUCCIÓN

La herpetofauna de Sonora refleja el contraste de diversos aspectos físicos, climáticos y bióticos del estado. Más de la mitad del territorio conforma al denominado Desierto Sonorense (8 887 128 hectáreas). Del total de la herpetofauna, 32% está asociada al Desierto Sonorense, 28% a las regiones tropicales del sur y 19% al clima templado de la Sierra Madre Occidental y su archipiélago norte de las islas montañosas.

Según Brown y Lowe (1980) y Brown (1994) Sonora está conformado por al menos once comunidades bióticas que van desde las hiperáridas en la subdivisión del Valle Bajo del Río Colorado en el Desierto Sonorense a nivel del mar hasta los bosques mixtos de coníferas a los 2 500 msnm (Coníferas de las Montañas Rocallosas) (Martin *et al.*, 1998). La gran diversidad biológica que existe en muchas de estas comunidades refleja su herencia tropical. Esta diversidad se incrementa por la convergencia biogeográfica del cálido (o caliente) desierto subtropical con las tierras bajas tropicales de América a 30° latitud N. Además de esto, las grandes elevaciones del relieve de Sonora brindan a la fauna de las montañas del sur templado una profunda conexión con las comunidades desérticas y tropicales. Los datos de la distribución de los anfibios y los reptiles a lo largo del límite templa-

¹ Drylands Institute.

² University of Arizona.

³ The Nature Conservancy.

⁴ Natural History Museum of Los Angeles County.

do-tropical cerca de los 28-29° latitud N de Sonora reflejan la transición de las especies neárticas y neotropicales. Existen 52 especies que alcanzan dentro del estado su límite de distribución norte (figura 1; apéndice III en disco compacto) y 13 que alcanzan su límite de distribución sur (figura 1; apéndice IV en disco compacto).

Historia de la investigación

Se realizaron varias expediciones pioneras en el estado de Sonora a mediados de 1800 y durante el siglo xx (Baird, 1859; Mowry, 1859; Sevin, 1860; Lumholtz, 1891; Allen, 1893; MacDougal, 1906; Mearns, 1907; Lumholtz y Dracopoli, 1912; Gold-

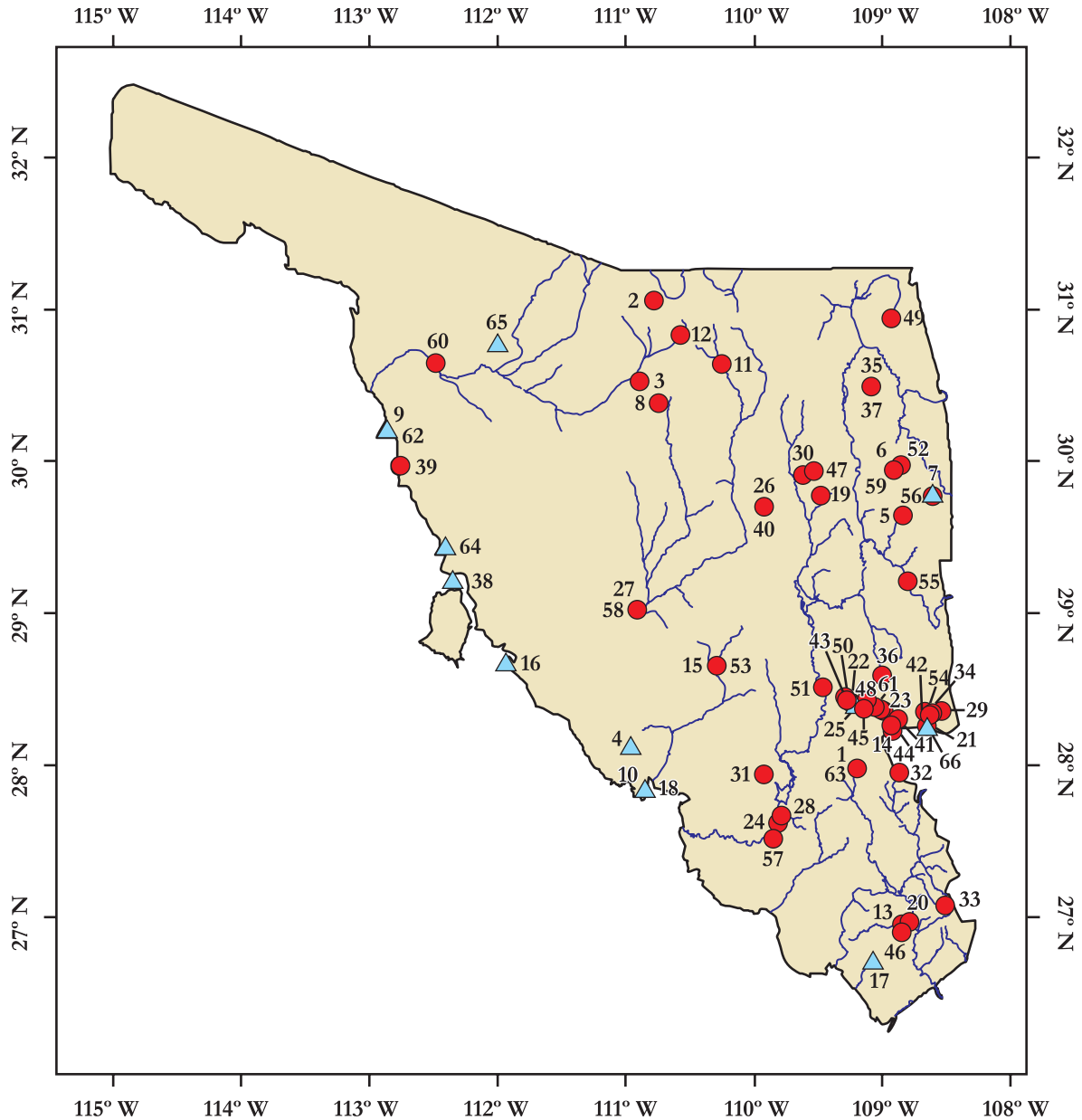


Figura 1. Especies que alcanzan su límite de distribución en Sonora. Los triángulos representan localidades en las que las especies alcanzan su límite latitudinal norte conocido. Los círculos representan localidades donde las especies alcanzan su límite latitudinal sur conocido. Las especies endémicas de Sonora no se incluyen. (*Ambystoma rosaceum*², *Pseudoeurycea bellii*⁴⁴, *Anaxyrus mazatlanensis*³, *Anaxyrus retiformis*⁴, *Ollotis occidentalis*³⁵, *Tlalocohyla smithii*⁵⁸, *Pachymedusa dacnicolor*³⁶, *Smilisca baudinii*⁵¹, *Craugastor occidentalis*¹³, *Craugastor tarahumaraensis*²⁴, *Leptodactylus melanonotus*²⁷, *Syrrophophus interorbitalis*⁵⁴, *Lithobates forreri*³¹, *Lithobates magnaocularis*³², *Lithobates yavapaiensis*⁶⁶, *Terrapene nelsoni*⁵⁵, *Kinosternon alamosae*²⁴, *Kinosternon arizonense*²⁵, *Kinosternon integrum*²⁶, *Trachemys yaquia*⁵⁹, *Coleonyx fasciatus*²¹, *Phyllodactylus homolepidurus*³⁹, *Phyllodac-*

man, 1951); sin embargo, no todas estas resultaron en la adquisición de especímenes de anfibios y reptiles. La exploración en 1890-1892 del norte de México por parte de Carl Lumholtz y su grupo de expedición está documentada por Allen (1893) y posiblemente representa uno de los mayores legados históricos para los herpetólogos. Durante esta expedición F. Robinette colectó lo que se convertiría en el ejemplar tipo de *Phrynosoma ditmarsii*. Su desaparición durante setenta años y su posterior redescubrimiento están bien documentados (Lowe *et al.*, 1971; Roth, 1997; Sherbrook, 1997) y proporcionan uno de los episodios más fascinantes de la herpetología de Sonora. La historia natural y la distribución de las especies se encuentran hasta hoy poco estudiadas.

El tratado de herpetología de Sonora mejor conocido es el de Charles Bogert y James Oliver (1945). Este tratado se publicó hace 62 años y es uno de los trabajos de herpetofauna más importantes. El difunto profesor, herpetólogo y ecólogo Charles H. Lowe era un estudiante de posgrado en 1939 y acompañó a Bogert durante su primer viaje a Álamos. Los resultados del estudio de este viaje llevaron a Bogert y a Oliver a su publicación más importante en 1945 y fomentó el gran interés que Lowe mostró durante muchos años de investigación en Sonora.

Van Denburgh (1922) y Slevin (1928) proporcionaron la primera lista publicada de la herpetofauna de Sonora. El legendario herpetólogo Edward H. Taylor (1938) fue el primero en realizar un compendio de anfibios y reptiles. Otros compendios y contribuciones fueron realizadas por Allen (1933), Burt (1935), Hensley (1950), Zweifel y Norris (1955), Zweifel (1956), Smith y Hensley (1958), Heringhi (1969), González-Romero y Álvarez-Cárdenas (1989), Parra y Quijada-Mascareñas

(1992), Schwalbe y Lowe (2000), Lemos-Espinal (2003, 2004 y 2005), Rorabaugh (2008) y Enderson *et al.* (2009).

Otras contribuciones al conocimiento del estado y de los registros de distribución de la herpetofauna se han reportado recientemente por Bonine *et al.* (2006), Enderson *et al.* (2006 y 2007), Enderson y Bezy (2007a, 2007b, 2007c, 2007d y 2007e), Lara-Góngora (2004), Rosen y Quijada-Mascareñas (en prensa), Quijada-Mascareñas y Enderson (2007), Quijada-Mascareñas, *et al.* (2007), Rorabaugh y Servoss (2006), Smith *et al.* (2005a, 2005b y 2005c) y Van Devender y Enderson (2007).

Un análisis actualizado de la riqueza y afinidades biogeográficas, comparando los estados circundantes a Sonora, ha sido publicado recientemente (Enderson *et al.* 2009). En este capítulo nos enfocamos más en la discusión de las necesidades de investigación y conservación. Nuestro objetivo es estimular más estudios futuros para un mejor entendimiento de la herpetofauna en Sonora.

Introducción biogeográfica

Situado entre las latitudes 26.2° y 32.5° N y con una superficie de 185 430 km², Sonora es el segundo estado más grande de México (Felger *et al.* 2001). Colinda con el estado más grande de México (Chihuahua) y presenta una división geológica de suma importancia al este: la Sierra Madre Occidental. El Golfo de California y las 14 islas de Sonora (apéndice v en disco compacto) se encuentran hacia el oeste y marcan el límite occidental. La frontera norte la delimita Estados Unidos (Arizona y Nuevo México), mientras que Sinaloa y el Golfo de California delimitan la frontera sur.

Como consecuencia del gradiente altitudinal pronunciado, la transición en Sonora del trópico a

*tylus tuberculatus*⁴⁰, *Heloderma horridum*²², *Ctenosaura macrolopha*³⁹, *Crotaphytus nebrius*³⁸, *Phrynosoma goodei*³⁸, *Phrynosoma orbiculare*³⁷, *Sceloporus lemosespinali*⁴⁹, *Sceloporus albiventris*⁴⁸, *Sceloporus nelsoni*⁵⁰, *Urosaurus bicarinatus*⁶³, *Urosaurus graciosus*⁶⁴, *Uma rufopunctata*⁶², *Anolis nebulosus*⁵ (Lieb 1981), *Plestiodon parviauriculatus*⁴², *Aspidoscelis costata*⁶, *Aspidoscelis sonora*⁷, *Aspidoscelis xanthonota*⁶⁵, *Boa constrictor*⁸, *Chionactis occipitalis*⁹, *Chionactis palastrois*¹⁰, *Coluber mentovarius*¹², *Mastigodryas clifftoni*³³, *Drymobius margaritiferus*²⁰, *Geophis dugesii*²², *Imantodes gemmistratus*⁵³, *Leptodeira punctata*²⁸, *Leptodeira splendida*²⁸, *Leptophis diplotropis*³⁰, *Pituophis deppesi*⁴¹, *Pseudoficimia frontalis*⁴⁵, *Salvadora bairdi*⁴⁷, *Procinura aemula*⁴³, *Storeria storerioides*⁵², *Sympholis lippiens*⁵³, *Thamnophis melanogaster*⁵⁶, *Thamnophis validus*⁵⁷, *Trimorphodon tau*⁶⁰, *Tropidodipsas repleta*⁶¹, *Micrurus distans*³⁴, *Agkistrodon bilineatus*², *Crotalus basiliscus*¹⁵, *Crotalus cerastes*¹⁶, *Crotalus tigris*¹⁷.

lo templado es abrupta (Búrquez *et al.*, 1992; Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Van Devender *et al.*, 2000 y 2005). Los bosques neotropicales más norteños de México se extienden hacia el sur de Sonora antes de alcanzar su límite norte de distribución cerca de San Javier a 29.5° N y 109° O (Búrquez *et al.*, 1992). A setenta kilómetros al este de San Javier y alcanzando los 2 100 msnm se extiende la Mesa del Campanero, donde el bosque de pino y encino recibe ocasionalmente tormentas de nieve durante el invierno. La herpetofauna que se distribuye en esta zona de transición es muy diversa. En San Javier, los anfibios y los reptiles con afinidad tropical (*v.g.*, *Boa constrictor*, *Ctenosaura macrolopha* y *Pachymedusa dacnicolor*) prosperan en el bosque tropical caducifolio, un ambiente en el que no se presentan heladas. Por otro lado, existen especies que se distribuyen en zonas templadas con afinidad madrense (*v.g.*, *Anaxyrus mexicanus*, *Elgaria kingii* y *Lampropeltis pyromelana*) que habitan en los altos de los bosques de pino-encino de Mesa del Campanero.

Situaciones similares se presentan en todo el estado, particularmente en las regiones central y septentrional, donde grandes extensiones de matorral desértico, pastizal desértico y pastizal de llanura rodean zonas montañosas aisladas. Muchas de estas zonas conforman refugios de biodiversidad aislados con afinidad madrense. La sierra de Los Ajos, que alcanza los 2 620 msnm en el extremo norte de Sonora, es un ejemplo excepcional en el que *Crotalus scutulatus* se distribuye en desiertos y pastizal desértico a los 1 000 msnm y *Crotalus pricei* se distribuye cerca de la cimas entre los abetos.

Las lluvias de verano que se relacionan con el monzón mexicano llegan a Sonora a finales de junio y a menudo son las primeras significativas del año. A mediados de julio, las tormentas de verano pueden transformar el matorral del desierto del oeste y norte de Sonora en exuberantes paisajes que recuerdan sus orígenes tropicales. Para los herpetólogos son de particular interés los hábitats de matorral desértico en el Altiplano de Arizona, en la Costa Central del Golfo y en las Planicies de Sonora, subdivisiones del Desierto Sonorense (Tur-

ner y Brown, 1982) donde grupos de anfibios y reptiles con afinidad templada y tropical forman zonas particulares de simpatria. Un ejemplo es el de la Costa Central del Golfo que marca la división entre Guaymas y Bahía de Kino, donde existen tanto *Boa constrictor* como *Charina trivirgata*.

A pesar de que Sonora contiene varios centros de diversidad de reptiles, el área mejor conocida por su carácter ecológico es el Gran Desierto de Altar. El calor extremo, la aridez y la inestabilidad de las dunas generan un entorno discordante que permite la existencia de especies arenícolas con adaptaciones para la locomoción y para la excavación en la arena. El Gran Desierto es, según los especialistas en dunas, el núcleo de la distribución en Sonora de *Uma rufopunctata* y *Phrynosoma mcallii* y, en menor grado, de *P. goodei*. Otras especies de herpetofauna asociadas a la arena que son dominantes en el Gran Desierto son *Chionactis occipitalis* y *Crotalus cerastes* (Rosen, 2006).

El núcleo de la biodiversidad de Sonora reside en las regiones de matorral del desierto. A pesar de que estas características y las especies endémicas de este bioma se extienden al norte y al sur de Sonora, muchas se encuentran en el centro del estado, lo que refleja la afinidad de estas especies al hábitat de matorral desértico. Ejemplos notables incluyen a *Ollotis alvaria*, *Kinosternon arizonense*, *K. alamosae*, *Aspidoscelis burti*, *Phrynosoma solare*, *Phyllorhynchus browni*, *Micruroides euryxanthus* y *Crotalus Tigris*. Muchas especies del neotrópico y de los desiertos cálidos de Norteamérica con amplia distribución, así como pocas de afinidad templada también son importantes en esta asociación.

Los límites norte y sur para las especies cuyo intervalo latitudinal termina en Sonora se observan en la figura 1. El mapa ilustra los límites conocidos de las especies con distribución tropical: (1) están concentradas en las zonas con mayor accesibilidad a los herpetólogos (la región de Álamos y la de Yécora) y (2) divergen de la costa a las latitudes altas. Las especies de afinidad tropical alcanzan su límite norte en la Sierra Madre Occidental, en Sonora. En latitudes más altas, estas especies están restringidas a mayores altitudes debido a los requerimientos de

humedad. La única excepción notable es *Phyllodactylus homolepidurus*. Esta especie, un miembro del grupo de *P. tuberculatus* (Dixon, 1964), parece ser la única en el desierto que alcanza su límite norte en la sierra Julio. *P. homolepidurus* se encuentra restringida a la costa de Sonora y a la isla San Pedro Nolasco y se extiende en el continente al cerro Lione cerca de El Oasis y al sur de Topolobampo, Sinaloa (Hardy y McDiarmid, 1969).

La mayoría de los miembros de la herpetofauna asociados al Desierto Sonorense (59 especies, 32%) alcanza su límite sur en Sinaloa (Hardy y McDiarmid, 1969). Aquellos que alcanzan su límite sur en Sonora lo hacen cerca de la costa. Otro componente importante de la diversidad de la herpetofauna se asocia con la Sierra Madre Occidental (34 especies, 19%) y continúa hacia el sur en Chihuahua y Durango (Webb, 1984; McCranie y Wilson, 1987; Lemos-Espinal y Smith, 2007). Tres notables excepciones son *Aspidoscelis sonorae*, *Lithobates yavapaiensis* y *Kinosternon arizonense*, que llegan a su límite sur en las laderas occidentales de la Sierra Madre Occidental en el Archipiélago de Sonora.

MÉTODOS

La presencia de las especies y su distribución fueron verificadas mediante el examen de especímenes preservados, la revisión de los registros publicados y observaciones de campo personales (véanse agradecimientos). Los nombres científicos y los nombres comunes en inglés utilizados en esta publicación se basan en las listas taxonómicas publicadas por Crother *et al.* (2007) y Liner (2007). Los nombres en español se tomaron de Lemos-Espinal (2003, 2004 y 2005) y Van Devender y Reina-Guerrero (datos sin publ.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La herpetofauna de Sonora que se conoce hasta hoy incluye 186 especies nativas divididas en 85 géneros y 32 familias. Ésta se encuentra constitui-

da por 35 especies de anfibios y 151 especies de reptiles que colonizaron hábitats terrestres y de agua dulce, incluidas cinco tortugas marinas y una víbora marina (apéndice 1 en disco compacto). Los endemismos están representados por cinco especies continentales (*Aspidoscelis opatae*, *Crotaphytus dickersonae*, *Phrynosoma ditmarsii*, *Trachemys yaquia*, *Xantusia jaycolei*) y ocho que habitan islas (*Aspidoscelis bacata*, *Aspidoscelis martyris*, *Ctenosaura conspicuosa*, *Ctenosaura nolascoensis*, *Uta nolascoensis*, *Uta palmeri*, *Coluber slevini* y *Crotalus estebanensis*). En el estado también habitan dos especies no nativas de anfibios y cinco especies no nativas de reptiles.

Una de las especies nativas ha sido erradicada: *Crocodylus acutus*. Este único miembro del orden Crocodylia conocido en Sonora fue visto por última vez en el estado en un estuario cerca de Guaymas en 1973 (Navarro, 2003; Nabhan, 2003). Varios registros históricos de esta especie provienen de los alrededores de la Isla del Tiburón y de Punta Sargento (Mead y Báez, 2003).

En comparación con la herpetofauna documentada en los estados vecinos, Sonora presenta una alta diversidad en anuros, lagartijas y tortugas (tabla 1). La comparación de la diversidad de Sonora con la del estado de Sinaloa es imprecisa si se toman en cuenta los cambios en la sistemática señalados en la revisión de Hardy y McDiarmid (1969); un compendio de la herpetofauna de Sinaloa que utiliza la clasificación taxonómica actual estima un aumento en la diversidad de la herpetofauna en ese estado.

Estado de la conservación

Sonora cuenta con 86 especies de reptiles y anfibios sujetos a protección federal (tabla 2; NOM, 2002) y con siete especies que se encuentran protegidas en Estados Unidos bajo la Ley de Especies en Peligro. Algunas especies que están bajo protección en México parecen estar lo suficientemente estables por lo que deberían eliminarse de la lista. Por otro lado, varias especies que no figuran en la lista deberían recibir protección. En las siguientes

Tabla 1. Comparación de la diversidad de especies nativas y la diversidad de los estados colindantes

Estado	Ranas y sapos	Salamandras	Tortugas	Lagartijas	Víboras	Amphisbaenia	Cocodrilos
Sonora	32 (2)	3	15 (2)	54 (2)	71 (1)	0	1 (extirpada)
Chihuahua ¹	31	4	13	51 (1)	72	0	0
Sinaloa ²	31 (1)	0	5	31 (2)	54 (1)	0	1
Baja California ³	13 (3)	4	3 (1)	49 (2)	38 (1)	1	0
Arizona ⁴	24 (3)	1	6 (3)	49 (3)	52	0	0

Nota: en los totales se incluyen todas las especies pero no los reptiles marinos. Las especies no nativas se muestran en paréntesis. Los totales no incluyen especies endémicas insulares.

¹Lemos-Espinal y Smith, 2007. ²Hardy y McDiarmid, 1969. ³Grismer, 2002. ⁴Brennan y Holycross, 2006.

Tabla 2. Número de especies nativas de México listadas como en riesgo y de las que se mencionan en la U.S. Endangered Species Act

	México		Estados Unidos		
	En peligro de extinción	Amenazadas	Sujetas a protección especial	En peligro	Amenazadas
Anfibios	0	2	10	1	1
Reptiles	5	29	40	4	1

secciones describimos algunos de los principales problemas que enfrenta la herpetofauna de Sonora.

La conversión de los hábitats terrestres

La conversión del matorral desértico, del matorral espinoso y del bosque tropical caducifolio a pastizal de zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) se ha extendido en Sonora y el hábitat de muchos reptiles ha quedado degradado y destruido (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007); sin embargo, las consecuencias no han sido ampliamente estudiadas. La herpetofauna se ha visto afectada debido a que el reemplazamiento de matorral desértico y matorral espinoso por pastizal ha alterado la estructura de la vegetación y la fuente de alimento de aquellos anfibios y reptiles que consumen insectos. A partir de lo anterior, se pueden predecir algunos efectos como la reducción en la biodiversidad y abundancia de especies y, si la proporción del territorio con pastizal continúa aumentando rápidamente, su desaparición. Existe cada vez mayor evidencia que indica que los incendios en zonas donde crecen pastos exóticos, como el de Yécora, generan daños graves para el hábitat de *Gopherus agassizii*, además de que dañan directamente a las tortugas (*v.g.*, Esque *et al.*, 2003; Rorabaugh, *en rev.*).

La deforestación es una causa muy común de la

disminución de las especies de salamandras en América del Norte (Ash, 1988; Petranka *et al.*, 1993; Waldick, 1997; Means, 2005). El grupo de los pletodónidos (salamandras con pulmones) parece ser particularmente vulnerable a los métodos usados en la silvicultura de bosques (Welsh y Droege, 2000; Ash *et al.*, 2003; Highton, 2005). El uso de estos métodos ha diezmando los bosques de pino en la zona de Mesa del Campanero y ha eliminado gran parte del hábitat ancestral de especies raras de anfibios y de la salamandra pletodóntida *Pseudoeurycea bellii* (Lowe *et al.* 1968; Enderson y Bezy, *obs. pers.*). La existencia de esta especie en el norte de la Sierra Madre depende casi en su totalidad de las prácticas forestales sustentables.

Modificación y pérdida del hábitat acuático

Los anfibios y los reptiles de Sonora han sido afectados por la pérdida de hábitat; sin embargo, muchas especies prevalecen en grandes áreas que no han sido destruidas por las modificaciones hidrológicas y del terreno. Por otro lado, las especies ribereñas y acuáticas han perdido hábitats importantes, particularmente en las tierras bajas donde el paisaje está dominado por la conversión para uso agrícola y urbano y por la derivación y uso del agua de los ríos. Las comunidades bióticas de la planicie

costera, particularmente las de los deltas de ríos importantes, han sido destruidas. Contamos con poca información acerca de su ecología original y carecemos de parcelas representativas protegidas que preserven el conocimiento y diversidad genética para las generaciones futuras. Los arroyos también han sido dañados por la extracción de aguas subterráneas. El Santa Cruz cambió de un río con afluencia significativa a un canal seco como consecuencia del desarrollo de los pozos que suministran agua a la ciudad de Nogales. De la misma manera, la especie endémica *Kinosternon sonoriense longifemorale* está amenazada por la extracción de aguas subterráneas en la cuenca del río Sonoyta (Rosen *et al.*, en rev.).

La agricultura a pequeña escala está muy extendida en Sonora, incluso en las regiones montañosas, donde pequeños parches locales de la llanura de inundación son utilizados para irrigar la zona mediante la desviación temporal con diques y presas (Rosen y Meléndez, en rev.). Paradójicamente, el agua superficial puede reducir la probabilidad de establecimiento de especies exóticas potencialmente invasoras, de la misma manera que especies acuáticas nativas son impactadas negativamente.

A lo largo de la Sierra Madre, en la Cuenca de Guzmán, en el noroeste de Chihuahua, sucede un fenómeno similar de conversión de tierras y agua a la agricultura—esta zona no ha sido totalmente devastada—; sin embargo, la riqueza de las comunidades de las tierras bajas de los ríos Casas Grandes y Santa María ha sido afectada. Las tierras altas de Sonora se enfrentan a otras presiones, aunque permanecen casi intactas y son importantes tanto para los biólogos como para el ecoturismo. Una alternativa importante, y para la que deben tomarse medidas inmediatas para la conservación de la herpetofauna acuática en Sonora, consiste en evitar la construcción de diques a gran escala y minimizar o incluso revertir la propagación de especies acuáticas dañinas que no son nativas.

La modificación del hábitat por la utilización de diques ha alterado gravemente partes de los ríos principales de Sonora, incluidos los ríos Mayo, Yaqui, Bavispe, Sonora, Altar y Colorado. Los diques pueden generar problemas a las especies acuáticas

y ribereñas; por ejemplo, causan la modificación de las tasas de flujo de agua, de la temperatura, de las características de inundación y del transporte de sedimentos (Poff *et al.*, 1997; Poff y Hart, 2002). El flujo normal de varios de estos ríos, que alguna vez cruzó la llanura costera, se ha modificado significativamente. Esto se debe principalmente a la conversión de tierras con vegetación natural en tierras para el uso en la agricultura (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2007). El grave impacto que causan los diques en la ictiofauna nativa está bien documentado en las tierras áridas del Viejo Mundo (Goren y Galil, 2005; Goren y Ortal, 1999) en Arizona (Minckley y Deacon, 1991) y en Sonora (Campoy-Favela *et al.*, 1989; Juárez-Romero *et al.*, 1991; Varela-Romero *et al.*, 1992; Miller *et al.*, 2005). Estas modificaciones a los hábitats acuáticos se espera que tengan un efecto directo sobre la herpetofauna, como se ha observado en Estados Unidos (Rosen y Schwalbe, 2002a). Los registros recientes en las tierras bajas cerca de grandes presas en Sonora reveló la proliferación de especies exóticas, incluida *Lithobates catesbeianus*, y la presencia de pocas especies nativas (Rosen y Meléndez, en rev.). Dentro y cerca de los grandes embalses, las amenazas a la fauna acuática nativa de Sonora son tan importantes y graves como las que ocurren en el suroeste de Estados Unidos y podrían ser distintas a las encontradas hace unas cuatro o cinco décadas (en las invasiones de las cuencas de los ríos Yaqui y Gila) por Unmack y Fagan (2004). Los diques pueden afectar significativamente los regímenes de afluencia que darían a las especies nativas de peces y ranas una ventaja competitiva en las corrientes (Eby *et al.*, 2003; Sartorius y Rosen, 2000). El disturbio natural de las inundaciones es fundamental para mantener una vegetación ribereña en buen estado, por lo que la eliminación de las inundaciones puede reducir el alimento y la distribución de los reptiles y los anfibios. Algunos efectos adicionales de los diques incluyen el mantenimiento de una fuente de depredadores no nativos de peces y ranas que invaden las aguas de la presa-embalse. Incluso en las presas pequeñas en los arroyos pequeños el flujo continuo de especies no nativas de

peces y ranas podría mantener dichas poblaciones. (Schultz *et al.*, 2003; Lazaroff *et al.*, 2006). Las presas que han bloqueado el flujo de los ríos principales han reducido drásticamente las lagunas costeras de manglares y han eliminado la mayor parte del hábitat potencial que podría albergar cocodrilos en Sonora (Mead y Báez, 2003).

Introducción de especies acuáticas no nativas

Las aguas en condiciones originales con muchos o casi todos los vertebrados acuáticos nativos todavía pueden verse en las tierras altas de Sonora, desde el Desierto Sonorense hasta los altos bosques madrenses. En las ciénegas pueden observarse ejemplares acuáticos nativos, incluyendo en abundancia grupos de rana leopardo (complejo *Lithobates pipiens*) en lugares como La Ciénega de Saracachi en la parte alta del río San Miguel en la cuenca del río Sonora (Rosen y Meléndez, en rev.). *Thamnophis eques*, la cual todavía puede encontrarse en el pastizal (Enderson y Bezy, obs. Pers.), está en proceso de extirpación de una zona originalmente extensa en Estados Unidos; sin embargo, parece estar cada vez más amenazada en Sonora, de manera especial en ciénegas cerca de la frontera con Estados Unidos (Rosen, obs. pers.).

Las especies no nativas, incluyendo *L. catesbeianus*, el pez depredador y el cangrejo de río, representan amenazas para los anfibios acuáticos y reptiles en las tierras altas y en las altiplanices sonorense. De acuerdo con un estudio reciente, tanto *L. catesbeianus* como el cangrejo de río no son abundantes aún, mientras que especies nativas de rana leopardo (complejo *L. pipiens*) presentan poblaciones en muy buenas condiciones (Rosen y Meléndez, en rev.). Asimismo, en este estudio se encontraron especies exóticas de peces que no se habían registrado antes. Estas observaciones coinciden con Unmack y Fagan (2004) quienes consideran que existe en Sonora un proceso de invasión por especies exóticas parecido al que existió en Estados Unidos, con un retraso de 41-48 años. Las autoridades de México deberían tomar en cuenta los problemas previos en Estados Unidos y tomar

acciones con el objetivo de minimizar la invasión por especies exóticas.

La rana toro (Lithobates catesbeianus) es una especie nativa del este de Estados Unidos y es un depredador voraz. Su introducción al sudoeste de ese país ha estado asociado con la disminución de poblaciones de ranas leopardo nativas (*L. yavapaiensis*, *L. chiricahuensis*) y *Thamnophis eques* (Hayes y Jennings, 1986; Rosen y Schwalbe, 1995; Rosen *et al.*, 1995). *L. yavapaiensis* puede coexistir con poblaciones poco abundantes de *L. catesbeianus* si un régimen natural de afluencia restringe el reclutamiento de los renacuajos de *L. catesbeianus* (Sartorius y Rosen, 2000; Rosen y Schwalbe, 2002a). Por otro lado, la coexistencia de *L. catesbeianus* y de los peces no nativos a menudo elimina a las ranas nativas (Rosen *et al.* 1995; Kiesecker y Blaustein, 1998). El factor clave que determina si *L. catesbeianus* elimina a las especies nativas bajo estas circunstancias, e incluso si *L. catesbeianus* persiste o abunda, es la presencia de estanques grandes.

Se ha observado que los peces depredadores no nativos reducen las poblaciones de ranas, así como la de peces nativos (Rosen *et al.*, 1995; Rinne y Minckley, 1991; Minckley y Deacon, 1991; Kiesecker y Blaustein, 1998; Adams, 1999 y 2000), lo cual está relacionado con la disminución de las poblaciones de culebras de agua, incluidas *T. eques* y *T. rufipunctatus* (Rosen y Schwalbe, 2002a y 2000b), especialmente donde las presas han interrumpido el régimen natural de afluencia y han creado hábitats profundos ideales para la proliferación de especies exóticas (Meffe, 1984; Hayes y Jennings, 1986; Jennings y Hayes, 1994; Minckley y Meffe, 1987; Minckley y Deacon, 1991; Jennings, 1995; Sartorius y Rosen, 2000; Rosen y Schwalbe, 2002a).

Los peces exóticos depredadores y el ecológicamente destructivo cangrejo de río (*Orconectes virilis*; Fernández y Rosen, 1996) se están dispersando en México pero están lejos de causar impactos graves (Contreras y Escalante, 1984; Varela-Romero *et al.*, 2004; Miller *et al.*, 2005; Unmack y Fagan, 2004; Rosen y Meléndez, en rev.). Los peces exóticos han sido utilizados para la pesca y en algunos casos como alimento para consumo humano. En

términos ecológicos, las especies más dañinas incluyen *Ameiurus melas*, *Ictalurus punctatus*, *Lepomis cyanellus*, *Micropterus salmoides* y *Gambusia affinis*. Estas especies no nativas ocupan sistemas ribereños y se sabe que se están expandiendo (Hendrickson *et al.*, 1981; Hendrickson, 1983; Unmack y Fagan, 2004; Campoy-Favela *et al.*, 1988; Hendrickson y Juárez-Romero, 1990; Abarca *et al.*, 1995; Juárez-Romero *et al.*, 1988; Meléndez y Rosen, 2006).

No existen cangrejos de río no nativos en el Desierto Sonorense (Hobbs, 1989; Bowman y Rodríguez-Almaraz, 1992; Villalobos-Figueroa, 1983; Villalobos-Hiriart *et al.*, 1993; Fetzner, 2006), pero se ha introducido una especie (*Orconectes viriles*) en el oeste de Norteamérica, incluido Arizona (Hobbs *et al.*, 1989). Esta especie ha dañado seriamente los sistemas acuáticos (Fernández y Rosen, 1996; Garhardt y Kats, 1996). La disminución reciente y precipitada de *Thamnophis rufipunctatus* en Estados Unidos es sincrónica a la expansión masiva de *O. virilis* (Holycross *et al.*, 2006) y las observaciones recientes en México indican que la expansión de las especies exóticas hacia el sur, incluyendo a los peces y al cangrejo de río, se asocia con la reducción de *T. rufipunctatus* (A. Holycross, 2007, com. pers.). *O. virilis* consume plantas acuáticas nativas e invertebrados y por lo tanto reduce la cobertura y la disponibilidad de alimento para los peces, los anfibios y los reptiles semiacuáticos. También se alimenta de muchos vertebrados juveniles, por ejemplo de *Thamnophis* y *Kinosternon* (Fernández y Rosen, 1996). No existe evidencia de que el cangrejo de río juegue un rol positivo neto; su introducción fue un error y actualmente es imposible controlarlo o eliminarlo.

Las especies introducidas pueden jugar un rol adicional en la disminución de las especies nativas debido a que pueden portar enfermedades. Una enfermedad emergente de los anfibios causada por un hongo Chytridiomycete (*Batrachochytrium dendrobatidis*; Daszak *et al.*, 2003) está afectando a las ranas en el sudoeste americano, incluido el estado de Sonora (Hale *et al.*, 2005). *L. tarahumarae* declinó debido a una ola de enfermedad que se presentó en algunas localidades en Sonora, a pesar de

esto ha persistido. En Estados Unidos esta especie se redujo aparentemente a causa de esta enfermedad (Hale *et al.*, 1995). De modo semejante, *L. chiricahuensis* ha sido amenazada por la quitridiomycosis en Estados Unidos (USFWS, 2007). A pesar de que el impacto en Sonora permanece sin estudiar, las especies de ranas de elevaciones bajas parecen estar menos afectadas que las del norte (Hale *et al.*, 2005; Rosen y Meléndez, en rev.) y parecen ser prósperas. Existe algo de controversia acerca de si la virulencia de esta enfermedad requiere factores de estrés adicionales (Carey *et al.*, 2006); la mortalidad causada por la enfermedad en el sudoeste de América parece haberse disparado por el frío normal de invierno (Bradley *et al.*, 2002; Hale *et al.*, 2005). La enfermedad pudo haber provenido de África cuando se exportó *Xenopus laevis* (Weldon *et al.*, 2004) y también pudo haber sido transportada a nuevas áreas por medio de vectores resistentes como *L. catesbeianus* (Garner *et al.*, 2006) y por actividades antropogénicas (Collins y Storfer, 2003).

Las especies introducidas también amenazan a los taxones nativos debido a que puede haber hibridación. A pesar de que no existen registros de este proceso para la herpetofauna de Sonora, estamos investigando si las mascotas (*Trachemys scripta elegans*) pueden estar hibridando con la tortuga endémica de Sonora *T. yaquia*. Esta amenaza puede generar efectos lentos debido al largo ciclo de vida de las tortugas pero puede resultar irresoluble si no se toma en cuenta.

Exterminio y consumo insostenible de reptiles

Cinco especies de tortugas marinas se reproducen en el Golfo de California y de dos (*Dermochelys coriacea*, *Lepidochelys olivacea*) se sabe que anidan en las playas de Sonora. Las cinco especies han sufrido un declive severo y se consideran «En peligro de extinción» (NOM, 2002). El daño histórico más grave en el territorio circundante a Sonora es generado por la caza comercial de tortugas y por la pérdida de la afluencia en el río Colorado y otros grandes ríos. Actualmente la mayor amenaza que reduce las poblaciones de tortugas en el Golfo es pro-

bablemente causado por la captura incidental durante la pesca del camarón. A pesar de las regulaciones finalizadas en 1999 que encomendaron la utilización de dispositivos para la exclusión de las tortugas en las redes de camarón, los barcos de pesca no han aprobado su utilización (Seminoff y Nichols, 2007; Rorabaugh, en rev.).

Por otra parte, en Sonora las serpientes de todo tipo son eliminadas sistemáticamente cada vez que se les encuentra en los caminos. Debido a que las serpientes consumen roedores que lo mismo causan daños al alimento humano que transmiten enfermedades, así como a que la mayoría de las víboras no son peligrosas, la educación puede eliminar este tipo de masacres.

NECESIDADES EN INVESTIGACIÓN Y RECOMENDACIONES

Creación de una colección herpetológica en Sonora

En 1994 se puso en marcha la Systematics Agenda 2000 con el fin de documentar la biodiversidad de la Tierra (Cracraft *et al.*, 1994). Hasta ese momento más de 1.4 millones de especies habían sido descritas; sin embargo, se cree que esto es sólo diez por ciento de las especies del planeta. El primer objetivo de esta agenda fue el de investigar y describir las formas de vida no documentadas; el segundo fue determinar su distribución geográfica y temporal. En la docena de años posteriores, los biólogos sistemáticos trabajaron a un ritmo febril para cumplir el objetivo de estas dos misiones. A pesar del progreso, la vida en la Tierra permanece desconocida.

Con el crecimiento de la población humana, el consumo de energía y las emisiones de gases invernadero, la extinción generada por el cambio climático ha añadido un peligro para la vida en la Tierra. A pesar de que nuevas herramientas que ayudan a la identificación sistemática han sido desarrolladas, por ejemplo el código de barras de ADN, Hebert y Gregory (2005) detallaron la comparación morfológica de los especímenes preservados en alcohol de anfibios y reptiles y hasta hoy ésta es la fuente

más valorada. Material previamente preservado también provee de la documentación de la distribución de muchas especies de anfibios y reptiles que hoy corresponden a zonas utilizadas en la agricultura y el desarrollo urbano, entre otros fines. La rápida dispersión del hongo quitridio ha llevado sin duda a la extinción de poblaciones de ranas en Sonora, la cual sólo puede ser documentada si los especímenes de museo existen. Irónicamente, los estudios histológicos de los especímenes preservados han probado ser una herramienta útil que documenta la secuencia y distribución de la enfermedad causada por el quitridio (Bradley *et al.*, 2002; Weldon *et al.*, 2004; Hale *et al.* 2005; Ouellet *et al.* 2005). El estudio de los ejemplares conservados de anfibios y reptiles también constituye una importante base para el conocimiento de los ciclos reproductivos y la alimentación de estos organismos.

En el momento en el que se escribió este trabajo, Sonora no contaba con una colección de ejemplares preservados de Herpetofauna ni con las instalaciones adecuadas para llevar a cabo esta labor.

Flores-Villela y Hernández (1992) estudiaron las colecciones herpetológicas en México y encontraron que la mayoría de los estados contaban con colecciones de la herpetofauna nativa. Para Sonora, mil doscientos ejemplares de anfibios y reptiles se encuentran albergados en El Centro Ecológico de Sonora. Se desconoce el estado en el que se encuentra este material.

El establecimiento de una colección de anfibios y reptiles en Sonora es fundamental para documentar la biodiversidad del estado antes de que ocurran más cambios antropogénicos radicales. Durante el desarrollo de esta investigación se estudiaron todo tipo de ejemplares, incluidos los especímenes preservados en alcohol, para disponer de muestras de tejido, fotografías digitales y películas, así como datos de campo detallados tales como las coordenadas del GPS, las observaciones ecológicas y las notas de campo digitalizadas. Actualmente es muy común que cuando se describen nuevas especies de anfibios y reptiles se realicen comparaciones de secuencias de ADN con las del material preservado para determinar si el clado de ADN re-

presenta una especie evolutiva con una morfología, distribución y ecología diferentes. En muchos casos, los ejemplares pueden ser fácilmente introducidos a las colecciones recuperando los anfibios y reptiles que mueren en las carreteras (véase Rosen y Lowe, 1994), lo cual es un ejemplo del grado de mortalidad que existe en estas vías de comunicación del Desierto Sonorense. El establecimiento de una colección herpetológica en Sonora será un centro de información sobre la biodiversidad de los anfibios y los reptiles que permitirá examinar a los ejemplares tipo, realizar la identificación de las especies, efectuar comparaciones morfológicas y hacer estudios de ADN para filogeografía y de ecología.

La creación de una colección de anfibios y reptiles en Sonora en un lugar con la infraestructura adecuada es una de las necesidades más importantes que perciben los autores.

El inventario y monitoreo de los ránidos

Seis especies nativas de ránidos existen en Sonora. No se cuenta con datos o éstos son incompletos a excepción de los de las especies *Lithobates tarahumarae* (Hale y May, 1983; Hale, 2001) y los de *L. magnaocularis* (Frost y Bagnara, 1974). Ejemplos de este problema se conocen en al menos dos áreas en donde nuevas especies pueden existir: la sierra del Aguaje y la planicie costera cerca de Bahía de Kino. Los ránidos que se encuentran en barrancos húmedos de la sierra del Aguaje cerca de Guaymas probablemente no están descritos, mientras que los ránidos del grupo de *L. berlandieri* existen en las planicies costeras del sudeste de Sonora en los matorrales desérticos de Bahía de Kino, pero aún no han sido identificados (Enderson y Bezy, obs. pers.). Problemas taxonómicos similares pueden existir en la zona situada al norte de Yécora y al este de Maycoba (Smith y Chiszar, 2003).

En el suroeste de Estados Unidos los ránidos han experimentado un declive poblacional importante. Seis especies que fueron abundantes en Arizona en la actualidad se encuentran casi ausentes en su distribución original (Clarkson y Rorabaugh, 1989; Sredl *et al.*, 1997b); asimismo, se observa una tasa

de descenso continua. *L. tarahumarae* fue eliminada de Estados Unidos en 1983 (Hale, 2001), mientras que una segunda especie, *L. chiricahuensis*, está clasificada como amenazada por el United States Fish and Wildlife Service (2002).

Una disminución precipitada y una eliminación local de *L. tarahumarae* se ha documentado en Sonora (Hale, 2001; Hale *et al.*, 2005). El hongo quitridio –un patógeno conocido por causar la quitridiomycosis en anfibios (Weldon *et al.*, 2004)– está implicado en estos descensos y su existencia está documentada en las poblaciones de Sonora de *L. magnaocularis*, *L. pustulosus* y *L. yavapaiensis* (Hale *et al.*, 2005). A pesar de esto, no se han hecho esfuerzos por conocer la distribución de este hongo ni su efecto en los anfibios.

La exploración y el establecimiento del monitoreo sistemático ayudará a los esfuerzos para entender la biodiversidad y la distribución de las poblaciones de Sonora y permitirá desarrollar medidas de conservación.

Zonas inexploradas

Varias zonas en Sonora están pobremente representadas en las colecciones herpetológicas. Con estudios adicionales de campo en las áreas descritas abajo, lo que se conoce de la herpetofauna y nuestro entendimiento de su ecología de distribución se incrementará significativamente.

Millpillas al norte de Yécora

Al este-noreste de Álamos y al norte de Yécora se encuentra una zona continua de bosque de pino-encino. Por otro lado, la herpetofauna del área norte de Yécora no se conoce. Las especies que probablemente habitan en la región son, por ejemplo, *Barrisia levicollis*, *Conopsis nasus*, *Lithobates pustulosus*, *Pseudoeurycea belli*, *Phrynosoma orbiculare* y *Salvadora bairdii*.

Del norte de Yécora a la sierra El Tigre

Los estudios del municipio de Yécora están en proceso (Enderson y Bezy, obs. pers.), pero el norte de Yécora y la sierra El Tigre no han sido explora-

dos. Es en esta región donde se encuentra el límite norte de la Sierra Madre Occidental; la vegetación madrense en esta zona está representada por: *Anaxyrus mexicanus*, *Pituophis deppei*, *Pseudoeurycea bellii* y *Thamnophis melanogaster*.

Región del noreste de Chihuahua; pastizal y matorral desértico

Esta zona, al sureste de Naco, al norte de la sierra de Los Ajos, al noreste de la frontera con Arizona, Nuevo México y Chihuahua, es posiblemente la menos muestreada en Sonora. Esta zona alberga muchas especies asociadas al matorral desértico. Se piensa que están presentes especies de las regiones circundantes de Arizona y Chihuahua, tales como: *Aspidoscelis arizonae*, *Kinosternon flavescens*, *Lithobates blairi*, *Leptotyphlops dissectus*, *Sistrurus catenatus* y posiblemente *Trimorphodon wilkinsonii*.

Intervalos peninsulares costeros

El sur de Guaymas y el norte de sierra Tinaja del Carmen están caracterizados por la presencia de matorral desértico con afinidad biológica y florística a Baja California (Shreve, 1964; Turner y Brown, 1982; Felger, 1999; Gallo y González, 2003). El acceso a estas zonas es a menudo difícil debido al clima extremo y a la topografía accidentada. La herpetofauna aquí es poco conocida y no hay registros sobresalientes que incluyan géneros o especies endémicas como *Aspidoscelis* (Quijada-Mascareñas et al., en prep.), *Chionactis palarostris*, *Oxybelis aeneus*. Esta es una de las únicas zonas en el mundo en donde coexisten *Boa constrictor* y *Charina trivirgata*. Los relictos de los cañones tropicales en la sierra El Aguaje mantienen durante todo el año a los ránidos gracias a la retención de humedad.

La región de la frontera sur

En el sur de Sonora existen áreas extensas de matorral costero y de matorral de piedemonte. Estas regiones abarcan desde Güirocoba hasta la costa de Huatambampito. Muchas especies de afinidad tropical que se registran en Sinaloa en hábitats similares posiblemente se encuentren en esta zona no muestreada de Sonora; tal es el caso de *Crau-*

gastor taylori, *Gastrophryne usta*, *Geophis dugesii dugesii*, *Ollotis marmorea*, *Syrrhophus teretistes* e incluso *Triprrion spatulatus*.

Problemas taxonómicos y de distribución

La sistemática de muchas especies de anfibios y reptiles en Sonora actualmente es poco clara. A continuación se presentan algunos ejemplos:

Anaxyrus (= *Bufo*) complejo *microscaphus*

Sapos del complejo *A. microscaphus* (*A. californicus*, *A. mexicanus* y *A. microscaphus*) presentan morfología similar y tienen distribuciones alopatricas (Gergus, 1998). Las poblaciones del complejo *A. microscaphus* se encuentran en el bosque de pino y en el bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental, del sur de Durango al noroeste de Zacatecas y al norte del río Piedras en Chihuahua y se clasifican como *A. mexicanus* (Webb, 1972; Gergus, 1998). La distribución de esta especie en Sonora coincide con un cinturón de pino y bosque de pino-encino del estado a lo largo de la frontera oriental de cordillera de la Sierra Madre y termina al norte de su límite geológico cerca de la sierra Huachinera en el municipio del mismo nombre (Ferrusquia-Villafranca et al., 2005).

Según los datos morfológicos proporcionados por Webb (1972) y Stebbins (1985) se puede distinguir a los miembros del complejo de *A. microscaphus*. En el único estudio genético que se ha realizado hasta la fecha con un alelo de aloenzimas (Gergus, 1998) todas las subespecies de *A. microscaphus* son consideradas una sola especie (*A. californicus*, *A. mexicanus* y *A. microscaphus*). La población más sureña de *A. microscaphus* se encuentra al suroeste de Nuevo México en la cuenca del río Gila (Degenhardt et al., 1996); a 273 kilómetros al norte se encuentra la población más cercana de *A. mexicanus*. La falta de muestreo no ha permitido realizar estudios de una posible zona de contacto entre *A. mexicanus* y *A. microscaphus* en el norte y centro de Sonora (Gergus, 1998).

Examinamos (Enderson, obs. pers.) 152 especímenes preservados de *Anaxyrus microscaphus* (sen-

su lato) de Arizona, Chihuahua, Durango y Sonora. Seis sapos vivos también fueron estudiados a la par que se llevaba a cabo el trabajo de campo. Se documentó la presencia de un complejo de *A. microscaphus* en el río Sonora, cerca de Cucurpe y Arizpe en los pastizales desérticos, y en Mazocahui al pie del matorral desértico. Cada una de estas poblaciones se encuentra fuera de la distribución y el hábitat conocido para *A. mexicanus* (bosque de pino y bosque de pino-encino) y hasta ahora nuestros esfuerzos para asignarles los nombres de especies han sido infructuosos. Se recomienda realizar una evaluación adicional al complejo *A. microscaphus* en el que se incluya el material del río Sonora para evaluar la taxonomía y distribución de este complejo.

La zona de contacto de *Lithobates yavapaiensis* y *L. magnaocularis*

El límite sur de la distribución de *L. yavapaiensis* se encuentra poco estudiado; sin embargo, se sabe que la especie se distribuye en Sonora y entra en contacto con *L. magnaocularis* (Frost y Bagnara, 1974; Platz, 1988; Hale, 2001). La variación y la morfología comparada en estos taxones y otras especies de ránidos son complejas y de difícil delimitación. A pesar de que la investigación filogenética establece algunos taxones como únicos, las fronteras entre especies y sus límites geográficos se encuentran poco estudiados (Zaldívar-Riveron *et al.*, 2004; Hillis y Wilcox, 2005). Se necesitan estudios para hacer más amplio el conocimiento de la taxonomía y la distribución de estas ranas que se encuentran en peligro.

Las especies de *Aspidoscelis*

Para la mayoría de herpetólogos la identificación en el campo de las lagartijas cola de látigo es un reto debido al dimorfismo sexual, a la variación ontogenética en los patrones del color y a la limitación en los caracteres diagnósticos. Además, una tercera parte de las especies conocidas son partenogenéticas. Las especies diploides o triploides y unisexuales han evolucionado muchas veces por hibridación en los lagartos cola de látigo. La parte-

nogénesis implica el cambio de la dependencia del esperma (gonocorística o hermafroditas) a la reproducción independiente del esperma (hermafrodita partenogenética); esto ocurre posiblemente en sólo una generación en el híbrido F1. Muchos estudios indican que esta dinámica de la hibridación ocurre en la naturaleza (*v.g.*, Lowe *et al.*, 1970; Walker *et al.*, 1989; Dessauer *et al.*, 2000; Taylor *et al.*, 2001; Manning *et al.*, 2005).

Anteriormente los lagartos cola de látigo fueron asignados al género *Cnemidophorus*, que incluía todas las especies de Sonora. La taxonomía actual asigna a las formas de Norteamérica al género *Aspidoscelis* y el nombre *Cnemidophorus* sólo a algunas especies de América del Sur (Reeder *et al.*, 2002; Flores-Villela y Canseco-Márquez, 2004). Hay por lo menos siete especies de lagartos cola de látigo en Sonora. Dos especies más que se encuentran al sur de Arizona se ubican también en Sonora (*A. arizonae* y *A. xanthonota*; véase apéndice II en disco compacto) aunque no hay registros confirmados. Una especie bisexual está en proceso de ser descrita (Quijada-Mascareñas *et al.*, en prep.). Posiblemente más exploraciones en Sonora incrementarán los registros de especies (Dessauer y Cole, 1989; Wright, 1993; Reeder *et al.*, 2002).

Basándose principalmente en la morfología y en el número y la forma de los cromosomas, los lagartos cola de látigo pueden clasificarse en dos grupos naturales: *Sexlineatus* y *Tigris* (Lowe *et al.*, 1970). En el territorio continental de Sonora, *A. tigris* es el único miembro del grupo *Tigris*, mientras que las seis especies restantes pertenecen al grupo *Sexlineatus*. Hay cuatro especies unisexuales reportadas en el estado (*A. exsanguis*, *A. opatae*, *A. sonorae* y *A. uniparens*); estas especies son triploides y se incrementan con los eventos de hibridación entre ancestros diploides unisexuales y varios hermafroditas (gonocoristas) (Densmore *et al.*, 1989; Dessauer y Cole, 1989; Wright, 1993; Reeder *et al.*, 2002).

A continuación se presenta una revisión de las lagartijas cola de látigo o «huicos» de Sonora. Esperamos que este análisis estimule estudios de la evolución y la ecología de las especies de *Aspidoscelis*.

Aspidoscelis burti Taylor, 1938. *Aspidoscelis burti* estaba originalmente compuesta por tres subespecies: *A.b. burti*, *A.b. xanthonota* y *A.b. stictogramma* (Reeder *et al.*, 2002). Sin embargo, recientemente las poblaciones de Arizona anteriormente conocidas como *A.b. xanthonota* se consideran una sola especie evolutiva: *A. xanthonota* (Collins, 1991). Otra subespecie se distribuye principalmente en Sonora en la región de Guaymas y se sabe muy poco acerca de su historia natural. Una nueva especie (Quijada-Mascareñas, en prep.) parece ser el taxón hermano: *A.b. Burti*. Los datos filogenéticos preliminares sugieren que *A.b. stictogramma* es el taxón hermano de *A. xanthonota*. Sin embargo, la divergencia molecular entre algunos linajes indica que *A. burti* es un complejo de especies. Son necesarios estudios y trabajo molecular para resolver las afinidades y el estado en el que se encuentran estas poblaciones. La resolución de la posición sistemática de *A.b. stictogramma* es fundamental dado que se trata de una de las especies que por hibridación produjo especies unisexuales (Reeder *et al.*, 2002).

Aspidoscelis costata Cope, 1878. Este taxón ha recibido una atención limitada y su relación con otros miembros del grupo *Sexlineatus* no está clara. Dos subespecies se encuentran en Sonora: *A.c. barrancorum* y *A.c. griseocephala*. Los pocos estudios que se tienen del complejo *A. costata* sugieren que es parafilético. *A.c. griseocephala* de Sonora parece estar más relacionado con *A. burti*. Por otra parte, *A.c. costata* parece estar más estrechamente relacionada con *A. gularis* (Dessauer y Cole, 1989; Wright, 1993; Duellman y Zweifel, 1962; Reeder *et al.*, 2002). Se necesitan más estudios acerca de las relaciones geográficas y genéticas de *A.c. barrancorum* y *A.c. griseocephala* en Sonora, mientras que en *A. burti* se requiere aclarar la sistemática y las relaciones evolutivas de poblaciones diversas que se clasifican como *A. costata*. Se ha sugerido que estas especies bisexuales han formado parte de la hibridación que han producido las especies unisexuales en Sonora (Moritz *et al.*, 1989; Reeder *et al.*, 2002).

Aspidoscelis exsanguis Lowe, 1956. Esta especie, de amplia distribución, es el resultado de la hibridación entre un macho de una especie her-

mafrodita y una hembra diploide unisexual. De esta condición cromosómica triploide se origina una especie diploide partenogenética (Good y Wright, 1984; Dessauer y Cole, 1989; Reeder *et al.*, 2002). El ancestro hipotético original podría ser alguno de los siguientes organismos bisexuales: *A. inornata*, *A. costata barrancorum*, *A. burti stictogramma*, *A. gularis scalaris* y *A.g. septemvittata*. En el noreste de Sonora los ancestros más probables son *A. costata* y *A.b. stictogramma* (Moritz *et al.*, 1989). Para resolver el origen de *A. exsanguis* es necesario establecer sus posibles ancestros bisexuales. Se requieren estudios de filogenias a escala poblacional para identificar los límites de las especies y los patrones geográficos en los que se distribuye una especie y determinar hasta cuándo una especie sigue siendo la misma. Para estos estudios se utilizan tanto marcadores nucleares como mitocondriales en las poblaciones ancestrales de padres bisexuales.

Aspidoscelis opatae Wright, 1967. Esta es otra especie constituida por hembras triploides. A diferencia de *A. exsanguis*, *A. opatae* se limita a unas pocas localidades en el noreste de Sonora. Se piensa que una especie partenogenética intermedia se apareó con uno de sus ancestros con reproducción sexual (Dessauer y Cole, 1989) y que el ancestro diploide intermedio de *A. opatae* todavía sobrevive en el noreste de Sonora (Dessauer y Cole, 1989; Wright, 1993; Reeder *et al.*, 2002) como una especie unisexual no descrita que podría encontrarse en futuras expediciones en el noreste del estado (Reeder *et al.*, 2002). Tanto la historia natural de *A. opatae* como el estado de sus poblaciones están poco estudiados.

Aspidoscelis sonorae Lowe y Wright, 1964. *Aspidoscelis sonorae* es otro complejo de especies que incluye múltiples clones triploides que posiblemente se originaron a partir de hibridación de una especie partenogenética diploide con un ancestro hermafrodita: *A.b. stictogramma* (Dessauer y Cole, 1989). Hay algunos estudios sobre la historia natural y la ecología reproductiva de esta especie en Arizona (*v.g.*, Routman y Hulse, 1984; Taylor y Caraveo, 2003). La presencia de varios morfos en estas poblaciones parece estar asociado con las diferencias

en la edad de la madurez reproductiva (Routman y Hulse, 1984). Se desconoce si esos morfos de color están presentes en Sonora.

***Aspidoscelis tigris* Baird y Girard, 1852.** El complejo *Aspidoscelis tigris* incluye la más amplia distribución de lagartijas en América del Norte. La delimitación de las especies dentro de este grupo ha sido difícil y ha generado controversia. Si bien varios autores reconocen una única especie política (*v.g.*, Wright, 1993), otros dividen este taxón en ocho o más especies (*v.g.*, Maslin y Secoy, 1986). Pocos estudios filogenéticos se encuentran disponibles (Radtkey *et al.*, 1997; Reeder *et al.*, 2002). Dada la complejidad de la variación geográfica en el patrón de color y la escasez de caracteres útiles en el diagnóstico, es necesario un análisis filogenético molecular. Un estudio detallado de la zona de contacto entre dos de los miembros del grupo *A. tigris* en Sonora fue llevado a cabo por Taylor y Walker (1991).

***Coleonyx fasciatus* Boulenger, 1885**

Klauber (1945) reconoció la diferencia entre *Coleonyx fasciatus*, *C. variegatus* y *C. brevis* basándose en la ausencia de escamas postnasales amplias, la presencia de dígitos y extremidades más robustas y de tres (*vs.* cuatro) bandas oscuras en las extremidades. Conant (1965) examinó un ejemplar encontrado 29 kilómetros al norte de Culiacán, Sinaloa (AMNH 87517) que se asemeja a *C. fasciatus*. Las similitudes son las bandas oscuras y sólidas y la falta de escamas nasales. También se parece a *C. variegatus* porque presenta cuatro bandas en las extremidades. Se concluye que este espécimen representa un organismo intermedio entre *C. fasciatus* y *C. variegatus* y, por lo tanto, se propone denominarle *C. variegatus fasciatus*. Hardy y McDiarmid (1969) también examinaron las muestras de Sinaloa para ser integradas a *C.v. fasciatus*. Grismer (1988 y 1990) extendió el intervalo de *C. fasciatus* al norte a 32 kilómetros al sureste de Cananea; asimismo, determinó que los híbridos eran intermedios en algunas características pero más similares a *C. fasciatus* o a *C. variegatus*. Él reconoció *C. fasciatus* como una especie distinta debido a la ocu-

rrencia esporádica y variabilidad de los híbridos y debido a que, clasificándolos con *C. variegatus*, las especies serían parafiléticas con respecto a *C. brevis* (Parafiletico: se incluye al antepasado común de sus miembros, pero no a todos los descendientes de éste). Smith (1989) argumentó que el reconocimiento de *C. fasciatus* es coherente con el concepto de especie biológica.

Al norte de la región de Álamos sólo dos especímenes no híbridos que se clasifican como *Coleonyx fasciatus* se encuentran disponibles. Se requiere material adicional e investigación para evaluar la variación ecogeográfica, morfológica, la variación genética y las relaciones poblacionales de *Coleonyx* en el centro de Sonora, especialmente en los valles y colinas en la base de la Sierra Madre Occidental entre Álamos y Cananea.

***Phrynosoma ditmarsii* Stejneger, 1906**

El lagarto *Phrynosoma ditmarsii* es endémico de Sonora, pero sabemos poco acerca de su distribución, de su estado poblacional y de su historia natural. La colecta del holotipo tuvo lugar entre 1890-1891 en una localidad entre Naco, Agua Prieta y Fronteras (Roth, 1971). Su distribución actualmente conocida consta de cuatro localidades separadas: en la sierra Manzanal, en la sierra Baviácora, cerca de Tepoca y cerca de Nácori Chico, a una altitud de 1 050 a 1 425 msnm (Perrill, 1983; Lowe *et al.*, 1971; Lowe y Howard, 1975; Sherbrooke *et al.*, 1998). Es probable que con más estudios de campo se descubran nuevas poblaciones de lagartos posiblemente raras.

***Phyllodactylus homolepidurus* Smith, 1935**

Dixon (1964 y 1966) reconoció tres taxones en Sonora: *Phyllodactylus tuberculosus saxatilis* (del norte de Sinaloa hasta Álamos), *Ph. homolepidurus* (en un radio de 130 millas de Hermosillo) y *Ph. nolascoensis* (Isla San Pedro Nolasco). Minnich (1980) amplió la distribución norte de *P. homolepidurus* hasta Punta Cirio, Sonora. Hardy y McDiarmid se encontraron con dificultades en la asignación a especies de los especímenes de Sinaloa debido al solapamiento de características consideradas diag-

nósticas por Dixon (1964). Estos autores concluyeron que *Ph. homolepidurus* puede distinguirse de *Pt. saxatilis* por su menor tamaño, tubérculos dorsales menos distinguibles y por el hecho de que la especie se extiende desde la zona situada al sur de Hermosillo hasta Topalobampo, Sinaloa. Grismer (1999) señaló que los datos de Dixon (1966) indican poco solapamiento entre *Ph. homolepidurus* y *Ph. nolascoensis*.

El examen del material del sur de Sonora entre las zonas de distribución de *Phyllodactylus tuberculosus* y *P. homolepidurus* indica la presencia de una amplia variación morfológica en muchas de las características usadas previamente para distinguir las dos especies, por lo que el estado de sus poblaciones está siendo examinado una vez más (Bezy, obs. pers.).

***Crotalus molossus* y *C. basiliscus* en Sonora**

En el sur de Sonora el establecimiento de los límites de las especies es difícil debido a la hibridación entre los distintos taxones (v.g., Conant, 1965). Eventos de hibridación caracterizan la región del sur de Sonora y norte de Sinaloa como una zona de sutura (Remington, 1968; Devitt, 2006). La asignación de algunas víboras de cascabel como *Crotalus molossus* o *C. basiliscus* es a menudo un desafío. Estas especies hibridan libremente a lo largo de una zona de contacto situada en la zona de Álamos y estamos al pendiente de patrones de hibridación en otras áreas tales como San Javier y Tónichi (Campbell y Lamar, 2004; Enderson, obs. pers.)

Crotalus molossus se encuentra en al menos dos tercios del estado en una amplia gama de hábitats (Campbell y Lamar, 2004). Muestra variación geográfica y ontogenética considerable. La única subespecie registrada en Sonora es *C.m. molossus* (Campbell y Lamar, 2004). Se reportan gradientes de *C.m. molossus* X *nigrescens* en el norte de la Sierra Madre en Chihuahua cerca de la frontera con Sonora (Van Devender y Lowe, 1977). Los individuos de la región del sureste de Sonora presentan un patrón de color similar al *C.m. nigrescens*. Estudios futuros de la variación del color y de las escamas pueden revelar patrones de color similares a aquellos que se encuentran en el estado de Chihu-

ahua. Los estudios en curso del grupo *C. molossus* sugieren que es una especie compleja, compuesta de linajes antiguos, que no se reconocen a nivel específico (Wüster *et al.*, 2005; Quijada-Mascareñas *et al.*, en prep.).

La distribución de *C. basiliscus* corre a lo largo de la costa del Pacífico de México desde Michoacán hasta Sonora y alcanza su límite de distribución norte cerca de San José de Pimas. Se trata de una víbora de cascabel que excede los ciento cincuenta centímetros (Klauber, 1972; Campbell y Lamar, 2004). Los especímenes más grandes tienen una columna vertebral prominente en la parte anterior del cuerpo en forma de espinas neurales, una característica morfológica de las serpientes de cascabel neotropicales (Campbell y Lamar, 2004). A pesar de ello, la evidencia filogenética prueba que *C. basiliscus* está anidado dentro del grupo de *C. molossus* (Wüster *et al.*, 2005).

El híbrido de *C. molossus* X *basiliscus* muestra una serie de caracteres intermedios incluidas las líneas de la cabeza, el patrón de color en el dorso y en la cola, la morfología intermedia y el tamaño (Campbell y Lamar, 2004). Sólo las características más importantes de diagnóstico son útiles para detectar la contribución de las especies parentales. Sin embargo, ciertas características pueden ser usadas para distinguir *C. molossus* de *C. basiliscus*. Los individuos de *C. molossus* son más pequeños (rara vez superiores a los ciento veinte centímetros de longitud total), presentan manchas dorsales, son claramente más oscuros y tienen interiores pálidos contrastantes. Los márgenes pálidos de manchas dorsales se forman generalmente de escamas pálidas, las manchas dorsales coalescen con las manchas laterales y forman bandas cruzadas en el cuerpo. La parte superior de la cabeza es oscura desde la parte anterior hasta los supraoculares, la cola es usualmente negra o café oscura con bandas cruzadas claras y la matriz del cascabel (la parte final de la cola antes del cascabel) es por lo general negro (Klauber, 1972; Campbell y Lamar, 2004).

Debido a la dificultad de la identificación de caracteres morfológicos distintivos de *C. molossus* y de *C. basiliscus* deberán realizarse en la zona de Ál-

mos futuros estudios genéticos con marcadores nucleares y mitocondriales para caracterizar a los híbridos y diferenciar los del linaje de sus padres y, de esta forma, aclarar su distribución en esta región.

***Trimorphodon tau* Cope 1869**

McDiarmid y Scott (1970) realizaron un estudio exhaustivo del grupo *Trimorphodon tau* y concluyeron que las siete especies que se reconocían anteriormente constituyen una sola especie: *T. tau*. Se encontró un solapamiento de las características de *T.b. biscutatus* y *T.b. lambda*. McDiarmid y Scott (1970) reportaron variación considerable dentro y entre poblaciones de *T. tau* en el patrón del color, en la cabeza y en la nuca; sin embargo, concluyeron que se podía diagnosticar a las especies por medio de un collar en la nuca con un borde posterior. Más recientemente Devitt (2006) encontró grandes diferencias en las secuencias de ADN mitocondrial entre *T. tau* y *T.b. lambda* de Sonora. Sin embargo, no se encontraron diferencias consistentes en el ADN entre *T. biscutatus* y *T. vilkinsonii* a pesar de sus diferencias morfológicas (LaDuc y Johnson, 2003).

Nuestras observaciones de campo y el examen de los ejemplares de museo indican que existe variación sustancial en los patrones del color de la cabeza y la nuca de *Trimorphodon* hasta la región del norte de Yécora (Enderson y Bezy, obs. pers.). Esto, aunado a la existencia de un espécimen que presenta el patrón en la cabeza de *T. tau* en la zona norte de Caborca (Ottley, 1982; Scott y McDiarmid, 1984), sugiere que se debe investigar más acerca de la distribución de las especies y del estado de las poblaciones de *Trimorphodon* en Sonora.

AGRADECIMIENTOS

Muchos curadores y directores de colecciones nos brindaron datos electrónicos, fotografías digitales y nos dieron respuesta a muchas preguntas. Los nombramos por el orden alfabético de la institución a la que pertenecen: Ned S. Gilmore (Academy of Natural Sciences, Department of Vertebrate Zool-

ogy); Anthony Gill y Robin Schroeder (Arizona State University); Jens Vindum y Robert Drewes (California Academy of Sciences); Stephen P. Rogers (Carnegie Museum of Natural History), Lee A. Fitzgerald y Toby Hibbitts (Department of Wildlife and Fisheries Sciences, Texas A and M University); Oscar Flores (Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México); Abigail Wolf, Alan Resetar y Harold Voris (Field Museum of Natural History); Jon Woodward y José Rosado (Harvard Museum of Comparative Zoology); Rick Feeney (Los Angeles County Museum of Natural History); Greg Schneider (Museum of Zoology University of Michigan); David Cannatella y Travis J. LaDuc (Texas Natural History Collections); George Bradley (University of Arizona); Mariko Kageyama (University of Colorado Museum); Chris Mayer y Chris Phillips (University of Illinois Museum of Natural History); Traci Hartsell y Ken Tighe (U.S. National Museum of Natural History); Jonathan Campbell y Carl Franklin (University of Texas at Arlington). Agradecemos especialmente a George Bradley de la University of Arizona por permitirnos el acceso frecuente (muchas veces sin aviso previo) a la colección de anfibios y reptiles de esa institución.

Datos de colecciones adicionales fueron obtenidos de registros mantenidos en las siguientes instituciones y accesibles vía el portal de HerpNET (<http://www.herpnet.org>), consultado del 13 de mayo de 2006 al 5 mayo de 2007: California Academy of Sciences, Cornell University Museum of Vertebrates, Harvard Museum of Comparative Zoology, Kansas University, Museum of Vertebrate Zoology, Royal Ontario Museum, Sam Noble Oklahoma Museum of Natural History, San Diego Natural History Museum, Sternberg Museum of Natural History, University of Texas de El Paso e Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Ami Pate, Bob Hansen, Dan Mulcahy, George Ferguson, Hobart Smith, Jim Rorabaugh, Julio Lemos-Espinal, Norm Scott, Peter Holm, Randy Babb, Roy McDiarmid, Tod Reeder y Wendy Hodges respondieron preguntas sobre distribución, so-

bretiros e información adicional. Brian Crother, Jim Rorabaugh, Julio Lemos-Espinal, Tom Brennan y Tom R. Van Devender revisaron el primer borrador de esta publicación.

LITERATURA CITADA

- ABARCA, F.J., K.L. YOUNG, B.L. JENSEN, I. PARRA, R.H. BETTASO y K. COBBLE. 1995. Yaqui River Fishes Relevant to the Madrean Province: U.S.-Mexico Collaborations. En: L.F. DeBano, P.F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre y C.B. Edminster, coors. técs. *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico*. USDA Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264, pp. 370-378.
- ADAMS, M.J. 1999. Correlated Factors in Amphibian Decline: Exotic Species and Habitat Change in Western Washington. *Journal of Wildlife Management* 63: 1162-1171.
- ADAMS, M.J. 2000. Pond Permanence and the Effects of Exotic Vertebrates on Anurans. *Ecological Applications* 10: 559-568.
- ALFORD, R.A. y S.J. RICHARDS. 1999. Global Amphibian Declines: A Problem in Applied Ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics* 30: 133-165.
- ALLEN, J.A. 1893. List of Mammals and Birds Collected in Northeastern Sonora and Northwestern Chihuahua, Mexico, on the Lumholtz Archaeological Expedition 1890-92. *Bulletin American Museum of Natural History*, art. III, vol. 5: 27-42.
- ALLEN, M.J. 1933. Report on a Collection of Amphibians and Reptiles from Sonora, Mexico, with the Description of a New Lizard. *Occasional Papers of the Museum of Zoology University of Michigan* 259: 1-15.
- ASH, A. 1988. Disappearance of Salamanders from Clearcut Plots. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 104: 116-122.
- ASH, A.N., R.C. BRUCE, J. CASTANET y H. FRANCILLON-VIEILLOT. 2003. Population Parameters of *Plethodon metcalfi* on a 1-year-old Clearcut and in a Nearby Forest in the Southern Blue Ridge Mountains. *Journal of Herpetology* 37: 445-452.
- BAIRD, S.F. 1859. Reptiles of the Boundary, with Notes by the Naturalists of the Survey. U.S.-Mex. *Boundary Survey (Emory)* 3: 1-35.
- BEZY, R.L., K.B. BEZY y K. BOLLES. 2008. Two New Species of Night Lizards (*Xantusia*) from Mexico. *Journal of Herpetology* 42: 680-688.
- BOGERT, C.M. y J.A. OLIVER. 1945. A Preliminary Analysis of the Herpetofauna of Sonora. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 83: 297-426.
- BONINE, K., E. ENDERSON y R. BEZY. 2006. Geographic Distribution. *Imantodes gemmistratus* (Central American Tree Snake). *Herpetological Review* 37: 363.
- BOWMAN, T.E. y G.A. RODRÍGUEZ-ALMARAZ. 1992. Distribution of *Procambarus clarkii* (Girará, 1852) (Decapoda: Cambaridae) in Mexico: An Update. *Journal of Crustacean Biology* 12: 627-630.
- BRADLEY, G.A., P.C. ROSEN, M.J. SREDL, J.R. JONES y J. LONGCORE. 2002. Chytridiomycosis in Native Arizona frogs. *Journal of Wildlife Diseases* 38: 206-212.
- BRENNAN, T.C. y A.T. HOLYCROSS. 2006. *Amphibians and Reptiles in Arizona*. Arizona Game and Fish Department, Phoenix, Arizona.
- BROWN, D.E., ed. 1994. *Biotic Communities: Southwestern United States and Northwestern Mexico*. University of Utah Press, Salt Lake City.
- BROWN, D.E. y C.H. LOWE. 1980. *Biotic Communities of the Southwest* (map). USDA Forest Service General Technical Report RM-78, Fort Collins, Colorado.
- BÚRQUEZ, A., A. MARTÍNEZ-YRÍZAR y P.S. MARTIN. 1992. From the High Sierra to the Coast: Changes in Vegetation along Highway 16, Maycoba-Hermosillo. En: K.F. Clark, J. Roldán-Quintana y R. Schmidt, eds. *Geology and Mineral Resources of Northern Sierra Madre Occidental, Mexico*. El Paso Geological Society.
- BÚRQUEZ, A. y A. Martínez-Yrizar. 2007. Conservation and Landscape Transformation in Northwestern México. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry Borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, pp. 537-547.
- BURT, C.E. 1935. Notes on a Collection of Lizards from Western Mexico and Tropical America. *Transactions of the American Microscopical Society* 54: 167-178.
- CAMPBELL, J.A. y W.W. LAMAR. 2004. *The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere*. Comstock, Ithaca y Londres.
- CAMPOY-FAVELA, J., A. VARELA-ROMERO, L. JUÁREZ-ROMERO y D.A. HENDRICKSON. 1988. A Preliminary Report on the Ichthyofauna of the Río Aros, Sub-Basin of the Río Yaqui Basin, Sonora, Mexico. *Proceedings of Desert Fishes Council* 19(1987): 28.
- CAMPOY-FAVELA, J., A. VARELA-ROMERO y L. JUÁREZ-

- ROMERO. 1989. Observaciones sobre la ictiofauna nativa de la cuenca del río Yaqui, Sonora, México. *Ecologica* 1: 1-29.
- CAREY C, J.E. BRUZGUL, L.J. LIVO, M.L. WALLING, K.A. KUEHL, B.F. DIXON, A.P. PESSIER, R.A. ALFORD y K. ROGERS. 2006. Experimental Exposures Boreal Toads (*Bufo boreas*) to a Pathogenic Chytrid Fungus (*Batrachochytrium dendrobatidis*) *EcoHealth* 3: 5-21.
- CLARKSON, R.W. y J.C. RORABAUGH. 1989. Status of Leopard Frogs (*Rana pipiens* complex) in Arizona and Southeastern California. *Southwestern Naturalist* 34: 531-538.
- COLLINS, J.T. 1991. Viewpoint: A New Taxonomic Arrangement for Some North American Amphibians and Reptiles. *Herpetological Review* 22: 42-43.
- COLLINS, J.T. y A. STORFER. 2003. Global Amphibian Declines: Sorting the Hypotheses. *Diversity and Distributions* 9: 89-98.
- CONANT, R. 1965. Miscellaneous Notes and Comments on Toads, Lizards, and Snakes from Mexico. *American Museum Novitates* 2205: 1-38.
- CONTRERAS-BALDERAS, S. y M.A. ESCALANTE-CAVASOS. 1984. Distribution and Known Impacts of Exotic Fishes in Mexico. En: W.R. Courtenay Jr. y J.R. Stauffer Jr., eds. *Distribution, Biology, and Management of Exotic Fishes*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, pp. 102-130.
- CONTRERAS-BALDERAS, S. y M.L. LOZANO-V. 1994. Water, Endangered Fishes, and Development Perspectives in Arid Lands of Mexico. *Conservation Biology* 8: 379-387.
- CRACRAFT, J., M. DENTON, H. ESBAUGH, M. NOVACEK y N.I. PLATNIK. 1994. Systematics Agenda 2000. American Society of Plant Taxonomists, The Society of Systematic Biology, y The Willi Hennig Society.
- CREWS, D., J.E. GUSTAFSON y R.R. TOKARZ. 1983. Psychobiology of Parthenogenesis. En: R.B. Huey, E.R. Pianka y T.W. Schoener, eds. *Lizard Ecology: Studies of a Model Organism*. Harvard University Press, Cambridge, pp. 205-231.
- CREWS, D. y L.J. YOUNG. 1991. Pseudocopulation in Nature in Unisexual Whiptail Lizards. *Animal Behavior* 42: 512-514.
- CROTHER, B.I., ed. 2007. *Scientific and Standard English Names of Amphibians and Reptiles of North America North of Mexico with Comments Regarding our Understanding*. SSAR Herpetological Circular.
- DASZAK, A.A. CUNNINGHAM y A.D. HYATT. 2003. Infectious Disease and Amphibian Population Declines. *Diversity and Distributions* 9: 141-150.
- DAVIDSON, C., H.B. SHAFER y M.R. JENNINGS. 2001. Declines of the California Red-Legged Frog: Climate, UV-B, Habitat, and Pesticides Hypotheses. *Ecological Applications* 11: 464-479.
- DAVIDSON, C., H.B. SHAFER y M.R. JENNINGS. 2002. Spatial Tests of the Pesticide Drift, Habitat Destruction, UV-B, and Climate-Change Hypotheses for California Amphibian Declines. *Conservation Biology* 16: 1588-1601.
- DEGENHARDT, W.G., C.W. PAINTER y A.H. PRICE. 1996. *Amphibians and Reptiles of New Mexico*. University of New Mexico Press, Albuquerque.
- DENSMORE, L.D., C. MORITZ, J.W. WRIGHT y W.M. BROWN. 1989. Mitochondrial DNA Analyses and the Origin and Relative Age of Parthenogenetic Lizards (genus *Cnemidophorus*). IV. Nine *sexlineatus* Group Parthenoforms. *Evolution* 43: 969-983.
- DESSAUER, H.C., C.J. COLE y C.R. TOWNSEND. 2000. Hybridization Among Western Whiptail Lizards (*Cnemidophorus tigris*) in Southwestern New Mexico: Population Genetics, Morphology, and Ecology in Three Contact Zones. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 246: 1-148.
- DESSAUER, H.C. y C.J. COLE. 1989. Diversity between and within Nominal Forms of Unisexual Teiid lizards. En: R. Dawley y J. Bogart, eds. *Evolution and Ecology of Unisexual Vertebrates*. New York State Museum Bulletin 466, pp. 49-71.
- DEVITT, T. 2006. Phylogeography of the Western Lyresnake: Testing Aridland Biogeographic Hypotheses across the Nearctic-Neotropical Transition. *Molecular Ecology* 15: 4387-4407.
- DIXON, J.R. 1964. The Systematics and Distribution of Lizards of the Genus *Phyllodactylus* in North and Central America. *New Mexico State University Science Bulletin* 64: 1-139.
- DIXON, J.R. 1966. Speciation and Systematics of the Gekkonid Lizard Genus *Phyllodactylus* on the Islands of the Gulf of California. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 33: 415-442.
- DIXON, J.R. y B.L. TIPTON. 2004. *Dryadophis* versus *Mastigodryas* (Ophidia: Colubridae): A Proposed Solution. *Herpetological Review* 35: 347-349.
- DUELLMAN, W.E. y R.G. ZWEIFEL. 1962. A Synopsis of the Lizards of the *sexlineatus* Group (genus *Cnemidophorus*) *Bulletin of the American Museum of Natural History* 123: 155-210.

- EBY, L.A., W.F. FAGAN y W.L. MINCKLEY. 2003. Variability and Dynamics of a Desert Stream Community. *Ecological Applications* 13: 1566-1579.
- ENDERSON, E.F., A. QUIJADA-MASCAREÑAS, D. TURNER, P.C. ROSEN y R.L. BEZY. 2009. The Herpetofauna of Sonora, Mexico, with Comparisons to Adjoining States. *Check List* 5: 632-672.
- ENDERSON, E.F., K.B. BONINE y R.L. BEZY. 2006. Geographic Distribution. *Gyalopion canum* (Chihuahuan Hook-nosed Snake) *Herpetological Review* 37: 362.
- ENDERSON, E.F., S. HALE y R.L. BEZY. 2007. Geographic Distribution. *Kinosternon integrum* (Mexican Mud Turtle) *Herpetological Review* 38: 217.
- ENDERSON, E.F. y R.L. BEZY. 2007a. Geographic Distribution. *Geophis dugesii* (Chihuahuan Earth Snake) *Herpetological Review* 38: 103.
- ENDERSON, E.F. y R.L. BEZY. 2007b. Geographic Distribution. *Pseudoficimia frontalis* (False Ficimia) *Herpetological Review* 38: 105.
- ENDERSON, E.F. y R.L. BEZY. 2007c. Geographic Distribution. *Leptodeira splendida ephippiata* (Saddled Cat-Eyed Snake) *Herpetological Review* 38: 220.
- ENDERSON, E.F. y R.L. BEZY. 2007d. Geographic Distribution. *Syrrophus interorbitalis* (Spectacled Chirping Frog) *Herpetological Review* 38: 216.
- ENDERSON, E.F. y R.L. BEZY. 2007e. Geographic Distribution. *Lampropeltis triangulum sinaloae* (Sinaloan Milksnake) *Herpetological Review* 38: 487.
- ESQUE, T.C., C.R. SCHWALBE, L. DEFALCO, R. DUNCAN y T. HUGHES. 2003. Effects of Desert Wildfires on Desert Tortoise (*Gopherus agassizii*) and Other Small Vertebrates. *Southwestern Naturalist* 48: 103-111.
- FELGER, R.S. 1999. The Flora of Cañon de Nacapule: A Desert-Bounded Tropical Canyon Near Guaymas, Mexico. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History* 35.
- FELGER, R.S., M.B. JOHNSON y M.F. WILSON. 2001. *The Trees of Sonora, Mexico*. Oxford University Press, Oxford, Nueva York.
- FERNÁNDEZ, P.J. y P.C. ROSEN. 1996. *Effects of the Introduced Crayfish Orconectes virilis on Native Aquatic Herpetofauna in Arizona*. Final Report to Arizona Game and Fish Dept. Heritage Program, Phoenix, Arizona.
- FERRUSQUÍA-VILLAFRANCA, I., L.I. GONZÁLEZ GUZMÁN y J.-L.E. CATRÓN. 2005. Northern Mexico's Landscape, Part I: The Physical Setting and Constraints on Modeling Biotic Evolution. En: J.-L.E. Catron, G. Ceballos, R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Oxford, Nueva York, pp. 11-38.
- FETZNER, J.W. JR. 2006 (<http://iz.carnegiemnh.org/crayfish/NewAstacidea/infracorder.asp?io=Astacidea>).
- FLORES-VILLELA, O.A. y J.A. HERNÁNDEZ. 1992. Las colecciones herpetológicas mexicanas. *Publicaciones Especiales del Museo de Zoología* 4: 1-24.
- FLORES-VILLELA, O.A. y L. CANSECO-MÁRQUEZ. 2004. Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica* (nueva serie) 20: 115-144.
- FROST, D.R., T. GRANT, J. FAIVOVICH, R.H. BAIN, A. HAAS, C.F.B. HADDAD, R.O. DE SÁ, A. CHANNING, M. WILKINSON, S.C. DONNELLAN, C.J. RAXWORTH, J.A. CAMPBELL, B.L. BLOTTO, P. MOLER, R.C. DREWES, R.A. NUSSBAUM, J.D. LYNCH, D.M. GREEN y W.C. WHEELER. 2006. The Amphibian Tree of Life. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 297: 1-370.
- FROST, J.S. y J.T. BAGNARA. 1974. A New Species of Leopard Frog (*Rana pipiens* Complex) from Northwestern Mexico. *Copeia* 1976: 332-338.
- GALLO-REYNOSO, J.P. y A. GONZÁLEZ-MARTÍNEZ. 2003. *Estudio previo justificativo para proponer el establecimiento de la región «Sierra del Aguaje, Bahía de San Francisco e Isla San Pedro Nolasco y sus aguas aledañas» como una nueva Área Natural Protegida*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Guaymas.
- GAMRADT, S.C. y L.B. KATS. 1996. Effects of Introduced Crayfish and Mosquitofish on California Newts. *Conservation Biology* 10: 1155-1162.
- GARNER, T.W.J., M.W. PERKINS, P. GOVINDARAJULU, D. SEGLIE, S. WALKER, A.A. CUNNINGHAM y M.C. FISHER. 2006. The Emerging Amphibian Pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* Globally Infects Introduced Populations of the North American bullfrog, *Rana catesbeiana*. *Biology Letters* 2: 455-459.
- GERGUS, E.W.A. 1998. Systematics of the *Bufo microscaphus* Complex: Allozyme Evidence. *Herpetologica* 54: 317-325.
- GOLDMAN, E.A. 1951. Biological Investigations in Mexico. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 115: 1-476.
- GONZÁLEZ-ROMERO, A. y S. ÁLVAREZ-CÁRDENAS. 1989. Herpetofauna de la región del Pinacate, Sonora, México: un inventario. *Southwestern Naturalist* 34: 519-526.
- GOOD, D.A. 1994. Species Limits in the Genus *Gerrhonotus* (Squamata: Anguillidae). *Herpetological Monographs* 8: 180-202.

- GOOD, D.A. y J.W. WRIGHT. 1984. Allozymes and the Hybrid Origin of the Parthenogenetic Lizard *Cnemidophorus exsanguis*. *Experientia* 40: 1012-1014.
- GOREN, M. y B.S. GALIL. 2005. A Review of Changes in the Fish Assemblages of Levantine Inland and Marine Ecosystems Following the Introduction of Non-Native Fishes. *Journal of Applied Ichthyology* 21: 364-370.
- GOREN, M. y R. ORTAL. 1999. Biogeography, Diversity and Conservation of the Inland Water Fish Communities in Israel. *Biological Conservation* 89: 1-9.
- GRISMER, L.L. 1988. Phylogeny, Taxonomy, Classification, and Biogeography of Eublepharid Geckos. En: R. Estes y G. Pregill, eds. *Phylogenetic Relationships of the Lizard Families*. Stanford University Press, Stanford, California, pp. 369-469.
- GRISMER, L.L. 1990. *Coleonyx fasciatus*. *Catalogue of American Amphibians and Reptiles* 463: 1-2.
- GRISMER, L.L. 1999. An Evolutionary Classification of Reptiles on Islands in the Gulf of California, México. *Herpetologica* 55: 446-469.
- GRISMER, L.L. 2002. *Amphibians and Reptiles of Baja California, Its Pacific Islands, and the Islands in the Sea of Cortes*. University of California Press, Berkeley.
- HALE, S.F. 2001. *The Status of the Tarahumara Frog in Sonora, Mexico, Based on a Resurvey of Selected Localities and Search for Additional Populations*. Report to the U.S. Fish and Wildlife Service, Phoenix, Arizona.
- HALE, S.F., C.R. SCHWALBE, J.L. JARCHOW, C.J. MAY, C.H. LOWE y T.B. JOHNSON. 1995. Disappearance of the Tarahumara Frog. En: E.T. LaRoe, G.S. Farris, C.E. Puckett, P.D. Doran y M.J. Mac, eds. *Our Living Resources: A Report to the Nation on the Distribution, Abundance, and Health of U.S. Plants, Animals, and Ecosystems*. U.S. Department of the Interior, National Biological Service, Washington, D.C., pp. 138-140.
- HALE, S.F., P.C. ROSEN, J.L. JARCHOW y G.A. BRADLEY. 2005. Effects of the Chytrid Fungus on the Tarahumara Frog (*Rana tarahumarae*) in Arizona and Sonora, Mexico. En: G.J. Gottfried, B.S. Gebow, L. Eskew y C. Edminster, eds. *Connecting Mountain Islands and Desert Seas: Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago II*. Proceedings RMRS-P-36. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp. 407-411 (http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p036/rmrs_p036_407_411.pdf).
- HALE, S.F. y C.J. MAY. 1983. *Status Report for Rana tarahumarae Boulenger*. Report to the Office of Endangered Species, U.S. Fish and Wildlife Service, Albuquerque, Nuevo México.
- HALE, S.F. y J.L. JARCHOW. 1988. *The Status of the Tarahumara frog (Rana tarahumarae) in the United States and Mexico: Part II*. Report to the Arizona Game and Fish Department, Phoenix, Arizona, and the Office of Endangered Species, U.S. Fish and Wildlife Service, Albuquerque, Nuevo Mexico.
- HALLIDAY, T. 2005. Diverse Phenomena Influencing Amphibian Population Declines. En: M.J. Lannoo, ed. *Amphibian Declines: The Conservation Status of United States Species*. University of California Press, Berkeley, pp. 3-6.
- HARDY, L. y R.W. MCDIARMID. 1969. The Amphibians and Reptiles of Sinaloa, Mexico. *University of Kansas Publications, Museum of Natural History* 18: 39-252.
- HAYES, M.P. y M.R. JENNINGS. 1986. Decline of Ranid Frog Species in Western North America: are Bullfrogs (*Rana catesbeiana*) Responsible? *Journal of Herpetology* 20: 490-509.
- HAYES, M.P. y M.R. JENNINGS. 1988. Habitat Correlates of Distribution of the California Red-Legged Frog (*Rana aurora draytonii*) and the Foothill Yellow-Legged Frog (*Rana boylei*): Implications for Management. En: R.C. Szaro, K.E. Severson y D.R. Patton, eds. *Proceedings of Symposium: Management of Amphibians, Reptiles, and Small Mammals in North America*. USDA, Forest Service General Technical Report RM-166, Flagstaff, Arizona julio 19-21, pp. 144-158.
- HEBERT, P.D.N. y T.R. GREGORY. 2005. The Promise of DNA Barcoding for Taxonomy. *Systematic Biology* 54: 852-859.
- HENDRICKSON, D.A. 1983. Distribution Records of Native and Exotic Fishes in Pacific Drainages of Northern Mexico. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 18: 33-38.
- HENDRICKSON, D.A., W.L. MINCKLEY, R.R. MILLER, D.J. SIEBERT y P.H. MINCKLEY. 1981. Fishes of the Rio Yaqui, Mexico and United States. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 15: 65-106.
- HENDRICKSON, D.A. y L. JUÁREZ-ROMERO. 1990. Los peces de la cuenca del río de la Concepción, Sonora, México y el estatus del charalito sonoreño, *Gila ditania*, una especie en amenaza de extinción. *Southwestern Naturalist* 35: 177-187.
- HENSLEY, M.M. 1950. Results of a Herpetological Re-

- connaissance in Extreme Southwestern Arizona and Adjacent Sonora, with a Description of a New Subspecies of the Sonoran Whipsnake, *Masticophis bilineatus*. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 53: 270-288.
- HERINGHI, H.L. 1969. *An Ecological Survey of the Herpetofauna of Álamos, Sonora, Mexico*. Tesis de maestría. Arizona State University, Tempe.
- HIGHTON, R. 2005. Declines of Eastern North American Woodland Salamanders (*Plethodon*). En: M. Lanoo, ed. *Amphibian Declines: The Conservation Status of United States Species*. University of California Press, Berkeley, pp. 34-46.
- HILLIS, D.M. y T.P. WILCOX. 2005. Phylogeny of the New World True Frogs (*Rana*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 34: 299-314.
- HOBBS, H.H., J.P. JASS y J.V. HUNER. 1989. A Review of Global Crayfish Introductions with Particular Emphasis on Two North American Species (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana* 56: 299-316.
- HOBBS, H.H. JR. 1989. An Illustrated Checklist of the American Crayfishes (Decapoda: Astacidae: Cambaridae, and Parastacidae). *Smithsonian Contributions in Zoology* 480: 1-236.
- HOLYCROSS, A.T., W.P. BURGER, E.J. NIGRO y T.C. BRENNAN. 2006. Surveys for *Thamnophis eques* and *Thamnophis rufipunctatus* in the Gila River Watershed of Arizona and New Mexico. Unpublished Report to Arizona Game and Fish Department, Phoenix.
- JENNINGS, M.R. 1995. Native Ranid Frogs in California. En: E.T. LaRoe, G.S. Farris, C.E. Puckett, P.D. Doran y M.J. Mac, eds. *Our Living Resources: A Report to the Nation on the Distribution, Abundance, and Health of U.S. Plants, Animals, and Ecosystems*. U.S. Department of the Interior, National Biological Service, Washington, D.C., pp. 131-134.
- JENNINGS, M.R. y M.P. HAYES. 1994. The Decline of Native Ranids in the Desert Southwest. En: P.R. Brown y J.W. Wright, eds. *Herpetology of the North American Deserts: Proceedings of a Symposium*. Southwestern Association of Herpetologists Special Publication 5, Los Angeles, California, pp. 183-211.
- JUÁREZ-ROMERO, L., A. VARELA-ROMERO y J. CAMPOY-FAVELA. 1991. Ecological Observations of Native Fishes from the Lower Rio Yaqui, Sonora, México. *Proceedings of the Desert Fishes Council* 20(1988): 79-80.
- JUÁREZ-ROMERO, L., A. VARELA-ROMERO y J.R. CAMPOY-FAVELA. 1988. Observaciones preliminares sobre la ictiofauna del río Mátape, Sonora, México. *Memorias IX del Congreso Nacional de Zoología*. Villahermosa, Tabasco, octubre 13-16 de 1987: 27-33.
- KIESECKER, J.M. y A.R. BLAUSTEIN. 1998. Effects of Introduced Bullfrogs and Small Mouth Bass on the Microhabitat Use, Growth and Survival of Native Red-Legged Frogs. *Conservation Biology* 12: 776-787.
- KLAUBER, L.M. 1945. The Geckos of the Genus *Coleonyx* with Descriptions of New Subspecies. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 10: 133-216.
- KLAUBER, L.M. 1972. Rattlesnakes: Their Habits, Life Histories, and Influence on Mankind. Abridged by K. H. McClung, ed. University of California Press, Berkeley.
- LADUC, T.J. y J.D. JOHNSON. 2003. A Taxonomic Revision of *Trimorphodon biscutatus wilkinsonii* (Serpentes: Colubridae). *Herpetologica* 59: 364-374.
- LARA-GÓNGORA, G. 2004. A New Species of *Sceloporus* (Reptilia, Sauria: Phrynosomatidae) of the *grammicus* Complex from Chihuahua and Sonora, Mexico. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 40: 1-41.
- LAZAROFF, D.W., P.C. ROSEN y C.H. LOWE. 2006. *Amphibians, Reptiles, and Their Habitats in Sabino Canyon*. University of Arizona Press, Tucson.
- LEGLER, J.M. y R.G. WEBB. 1970. A New Slider Turtle (*Pseudemys scripta*) from Sonora, Mexico. *Herpetologica* 26: 157-168.
- LEMONS-ESPINAL, J.A. 2003. *Anfibios y reptiles de la sierra Tarahumara*. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-Conabio, proyecto x004, México.
- LEMONS-ESPINAL, J.A. 2004. *Anfibios y reptiles del estado de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-Conabio, proyecto CE001, México.
- LEMONS-ESPINAL, J.A. 2005. *Anfibios y reptiles del este/noreste del estado de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-Conabio, proyecto BE002, México.
- LEMONS-ESPINAL, J.A., D. CHISZAR y H. SMITH. 2004. Variation in *Procinura aemula*, the File-Tailed Groundsnake of Mexico. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 40: 61-69.
- LEMONS-ESPINAL, J.A., H.M. SMITH y D. CHISAR. 2004. *Introducción a los anfibios y reptiles del estado de Chihuahua*. Universidad Nacional Autónoma de México y Conabio, México.
- LEMONS-ESPINAL, J.A. y H.M. SMITH. 2007. *Anfibios y*

- reptiles del estado de Chihuahua, México. Conabio, México.
- LIEB, C.S. 1981. *Biochemical and Karyological Systematics of the Mexican Lizards of the Anolis gadovi and A. nebulosus Species Groups (Reptilia: Iguanidae)*. Ph.D. Dissertation, University of California, Los Angeles.
- LINER, E.A. 2007. A Checklist of Amphibians and Reptiles of Mexico. *Occasional Papers of the Museum of Natural Science*, Louisiana State University 80.
- LOWE, C.H., C.J. JONES y J.W. WRIGHT. 1968. A New Plethodontid Salamander from Sonora, Mexico. *Contributions in Science, Los Angeles County Museum of Natural History* 140: 1-11.
- LOWE, C.H., J.W. WRIGHT, C.J. COLE y R.L. BEZY. 1970. Chromosomes and Evolution of the Species Groups of *Cnemidophorus* (Reptilia: Teiidae) *Systematic Zoology* 19: 114-127.
- LOWE, C.H., M.D. ROBINSON y V.D. ROTH. 1971. A Population of *Phrynosoma ditmarsii* from Sonora, Mexico. *Journal of the Arizona Academy of Science* 6: 275-277.
- LOWE, C.H. y C.W. HOWARD. 1975. Viviparity and Reproductive Pattern in *Phrynosoma ditmarsii* in Sonora, Mexico. *Southwestern Naturalist* 20: 265-270.
- LUMHOLTZ, C. 1891. Report on Explorations in Northern Mexico. *Journal of the American Geographical Society of New York* 23: 386-402
- LUMHOLTZ, C. e I.N. DRACOPOLI. 1912. The Sonora Desert, Mexico. *The Geographical Journal* 40: 503-518.
- MACDOUGAL, D.T. 1906. The Delta of the Rio Colorado. *Bulletin of the American Geographical Society* 38: 1-16.
- MANNING, G.J., C.J. COLE, H.C. DESSAUER y J. WALKER. 2005. Hybridization Between Parthenogenetic Lizards (*Aspidoscelis neomexicana*) and Gonocoristic Lizards (*Aspidoscelis sexlineata viridis*) in New Mexico. *American Museum Novitates* 3492: 1-56.
- MARTIN, P.S., D. YETMAN, M. FISHBEIN, P. JENKINS, T.R. VAN DEVENDER y R.K. WILSON. 1998. *Gentry's Rio Mayo Plants: The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico*. The Southwest Center Series, University of Arizona Press, Tucson.
- MARTÍNEZ-YRÍZAR, A., A. BÚRQUEZ y M. MAASS, M. 2000. Structure and Functioning of Tropical Deciduous Forest in Western Mexico. En: R.H. Robichaux y D. Yetman. eds. *The Tropical Deciduous Forest of Alamos: Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, pp. 19-35.
- MASLIN, T.P. y D.M. SECOY. 1986. A Checklist of the Lizard Genus *Cnemidophorus* (Teiidae) *University of Colorado Museum Contributions in Zoology* 1: 1-60.
- MCCRANIE, J.R. y L.D. WILSON. 1987. The Biogeography of the Herpetofauna of the Pine-Oak Woodlands of the Sierra Madre Occidental of Mexico. *Milwaukee Public Museum Contributions in Biology and Geology* 72: 1-30
- MCDIARMID, R.W. y N.J. SCOTT JR. 1970. Geographic Variation and Systematic Status of Mexican Lyre Snakes of the *Trimorphodon tau* Group. *Los Angeles County Museum Contributions in Science* 179: 1-43.
- MEAD, J.I. y A. BAEZ. 2003. Crocodylian Remains from the Late Pleistocene of Northeastern Sonora, Mexico. *Crocodyle Specialist Group Newsletter* 22: 19-21.
- MEANS, D. BRUCE. 2005. Pine Silviculture. En: M. Lanoo, ed. *Amphibian Declines: The conservation status of United States Species*. University of California Press, Berkeley, pp. 139-145.
- MEARNS, E.A. 1907. Mammals of the Mexican Boundary of the United States. *Bulletin of the United States National Museum* 56: 1-530.
- MEFFE, G.K. 1984. Effects of Abiotic Disturbance on Co-Existence of Predator-Prey Fish Species. *Ecology* 65: 1525-1534.
- MILLER, R.R., W.L. MINCKLEY y S.M. NORRIS. 2005. *Freshwater Fishes of Mexico*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.
- MINCKLEY, W.L., P.C. MARSH, J.E. DEACON, T.E. DOWLING, P.W. HEDRICK, W.J. MATTHEWS y G. MUELLER. 2003. A Conservation Plan for Native Fishes of the Lower Colorado River. *BioScience* 53: 219-234.
- MINCKLEY, W.L. y G.K. MEFFE. 1987. Differential Selection by Flooding in Stream-Fish Communities of the Arid American Southwest. En: W.J. Matthews y D.C. Heins, eds. *Community and Evolutionary Ecology of North American Stream Fishes*. University of Oklahoma Press, Norman, pp. 93-104.
- MINCKLEY, W.L. y J.E. DEACON, eds. 1991. *Battle Against Extinction: Native Fish Management in the West*. University of Arizona Press, Tucson.
- MINNICH, J.E. 1980. Geographic Distribution: *Phyllodactylus h. homolepidurus*. *Herpetological Review* 11: 39.
- MORRONE, J.J. y J. MÁRQUEZ. 2001. Halffter's Mexican Transition Zone, Beetle Generalized Tracks, and Geographical Homology. *Journal of Biogeography* 28: 635-650.
- MORTIZ, C.G., J.W. WRIGHT y W.M. BROWN. 1989. Mitochondrial-DNA Analyses and the Origin and

- Relative Age of Parthogenetic Lizards (genus *Cnemidophorus*) III. *C. velox* and *C. exsanguis*. *Evolution* 43: 958-968.
- MOYLE, P. 2002. *Inland Fishes of California*. Revised and Expanded. University of California Press, Berkeley.
- MOWRY, S. 1859. Arizona and Sonora. *Journal of the American Geographical and Statistical Society* 1: 66-75.
- MULCAHY, D.G., A.W. SPAULDING, J.R. MENDELSON III y E.D. BRODIE. 2006. Phylogeography of the Flat-Tailed Horned Lizard (*Phrynosoma mcallii*) and Systematics of the *P. mcallii-platyrrhinus* mtDNA complex. *Molecular Ecology* 15: 1807-1826.
- NABHAN, G.P. 2003. *Singing the Turtles to Sea. The Comcaac (Seri) Art and Science of Reptiles*. University of California, Berkeley.
- NAVARRO, C.J. 2003. *Crocodylus acutus* in Sonora. *Crocodile Specialist Group Newsletter* 22: 21.
- NOM. 2002. NOM-059-ECOL-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*, Norma Oficial Mexicana, 6 de marzo.
- O'BRIEN, C., A.D. FLESCHE, E. WALLACE, M. BOGAN, S.E. CARRILLO-PERCÁSTEGUI, S. JACOBS y C. VAN RIPER III. 2006. *Biological Inventory of the Rio Aros, Sonora, Mexico: A River Unknown*. Final Report to T&E, Inc.
- OTTLEY, J.R. 1982. Geographic Distribution. *Trimorphodon upsilon*. *Herpetological Review* 13: 82.
- OUELLET, M., I. MIKAEIAN, B.D. PAULI, J. RODRÍGUEZ y D.M. GREEN. 2005. Historical Evidence of Widespread Chytrid Infection in North American Amphibian Populations. *Conservation Biology* 19: 1431-1440.
- PARRA-SALAZAR, I. y A. QUIJADA-MASCAREÑAS. 1992. Fauna de Sonora: riqueza y estado actual. En: Moreno J.L., ed. *Ecología, recursos naturales y medio ambiente en Sonora*. El Colegio de Sonora, Hermosillo, pp 450-465.
- PERRILL, R.H. 1983. Geographic distribution: *Phrynosoma ditmarsii*. *Herpetological Review* 14: 123.
- PETRANKA, J.W., M.E. ELDRIDGE y K.E. HALEY. 1993. Effects of Timber Harvesting on Southern Appalachian Salamanders. *Conservation Biology* 7: 363-370.
- PLATZ, J.E. 1988. *Rana yavapaiensis*. Catalogue of American Amphibians and Reptiles 418:1-2.
- POFF, N.L., J.D. ALLAN, M.B. BAIN, J.R. KARR, K.L. PRESTEGAARD, B.D. RICHTER, R.E. SPARKS y J.C. STROMBERG. 1997. The Natural Flow Regime: A Paradigm for River Conservation and Restoration. *BioScience* 47: 769-784.
- POFF, N.L. y D.D. HART. 2002. How Dams Vary and why it Matters for the Emerging Science of Dam Removal. *BioScience* 52: 659-668.
- POUNDS, J.A. y M. CRUMP. 1994. Amphibian Declines and Climate Disturbance: The Case of the Golden Toad and the Harlequin Frog. *Conservation Biology* 8: 72-85.
- QUIJADA-MASCAREÑAS, A., E.F. ENDERSON, I. PARRA-SALAZAR y R.L. BEZY. 2007. Pleistodon obsoletus (Great Plains Skink). Geographic Distribution. SSAR *Herpetological Review*. 38: 353.
- QUIJADA-MASCAREÑAS, A. y E.F. ENDERSON. 2007. Ramphotyphlops braminus (Brahminy Blind Snake) Geographic Distribution SSAR. *Herpetological Review* 38: 490.
- RADTKY, R.R., S.M. FALLON y T.J. CASE. 1997. Character Displacement in Some *Cnemidophorus* Lizards Revisited: A Phylogenetic Analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94: 9740-9745.
- REASER, J.K. y A. BLAUSTEIN. 2005. Repercussions of Global Change. En: M. Lannoo, ed. 2005. *Amphibian Declines, the Conservation Status of United States Species*. University of California Press. Berkeley, pp 60-63.
- REEDER, T.W., C.J. COLE y H.C. DESSAUER. 2002. Phylogenetic Relationships of Whiptail Lizards of the Genus *Cnemidophorus* (Squamata: Teiidae): A Test of Monophyly, Reevaluation of Karyotypic Evolution, and Review of Hybrid Origins. *American Museum Novitates* 3365: 1-61.
- REMINGTON C.L. 1968. Suture-Zones of Hybrid Interaction Between Recently Joined Biotas. En: T. Dobzhansky, M.K. Hecht y W.C. Steere, eds. *Evolutionary Biology Appleton-Century-Crofts*, Nueva York, pp. 321-428.
- RINNE, J.N. y W.L. MINCKLEY. 1991. *Native Fishes in Arid Lands: A Dwindling Resource of the Desert Southwest*. USDA Forest Service General Technical Report, RM-206, Rocky Mountain Forest and Range, Experiment Station, Fort Collins, Colorado.
- RORABAUGH, J.C. 2008. An Introduction to the Herpetofauna of Mainland Sonora, Mexico, with Comments on Conservation and Management. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science* 40:20-65.
- RORABAUGH, J.C. En revisión. Conservation of Amphibians and Reptiles in Northwestern Sonora and Southwestern Arizona. Proceedings of the May 2-5, 2006

- conference «Sixth Conference on Research and Resource Management in the Southwestern Deserts: Borders, Boundaries and Time Scales». University of Arizona Press, Tucson.
- RORABAUGH, J.C. y J.M. SERVOSS. 2006. *Rana berlandieri* (Rio Grande leopard frog) Mexico: Sonora. *Herpetological Review* 37: 102.
- ROSEN, P.C. 2006. The Amphibians and Reptiles of the Dry Borderlands of Northwestern Sonora and Southwestern Arizona. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry Borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Logan, pp. 310-337.
- ROSEN, P.C., C. MELÉNDEZ, J.D. RIEDLE, A. PATE y E. FERNÁNDEZ. En revisión. Ecology and Conservation in the Sonoyta Valley, Arizona and Sonora. Proceedings of the May 2-5, 2006 «Sixth Conference on Research and Resource Management in the Southwestern Deserts: Borders, Boundaries and Time Scales». University of Arizona Press, Tucson.
- ROSEN, P.C., C.R. SCHWALBE, D.A. PARIZEK, P.A. HOLM y C. LOWE. 1995. Introduced Aquatic Vertebrates in the Chiricahua Region: Effects on Declining Native Ranid Frogs. En: L.F. DeBano, P.F. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre y C.B. Edminster, coors. técs. *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of Southwestern United States and Northwestern Mexico*. General Technical Report RM-GTR-264.: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado, pp. 251-261.
- ROSEN, P.C. y A. QUIJADA-MASCAREÑAS. En prensa. *Aspidoscelis xanthonota* (Red-backed Whiptail Lizard) Geographic Distribution. *Herpetological Review*.
- ROSEN, P.C. y C.H. LOWE. 1994. Highway Mortality of Snakes in the Sonoran Desert of Southern Arizona. *Biological Conservation* 68: 143-148.
- ROSEN, P.C. y C. MELÉNDEZ. En revisión. Observations on the Status of Aquatic Turtles and Ranid Frogs in Northwestern Mexico. Proceedings of the May 2-5, 2006, «Sixth Conference on Research and Resource Management in the Southwestern Deserts: Borders, Boundaries and Time Scales». University of Arizona Press, Tucson.
- ROSEN, P.C. y C.R. SCHWALBE. 1995. Bullfrogs: Introduced Predators in Southwestern Wetlands. En: E.T. LaRoe, G.S. Farris, C.E. Puckett, P.D. Doran y M.J. Mac, eds. *Our Living Resources: A Report to the Nation on the Distribution, Abundance, and Health of U.S. Plants, Animals, and Ecosystems*. U.S. Department of Interior, National Biological Service, Washington, D.C., pp. 452-454.
- ROSEN, P.C. y C.R. SCHWALBE. 2002a. Widespread Effects of Introduced Species on Aquatic Reptiles and Amphibians in the Sonoran Desert region. En: B.A. Tellman, ed. *Invasive Exotic Species in the Sonoran Desert Region*. University of Arizona Press, Tucson, pp. 220-240.
- ROSEN, P.C. y C.R. SCHWALBE. 2002b. *Conservation of Wetland Herpetofauna in Southeastern Arizona*. Final Report to Arizona Game and Fish Department Heritage Program (IIPAM I99016) and USFWS, 160 p.
- ROTH, V.D. 1971. Food Habits of Ditmars' Horned Lizard with Speculations on its Type Locality. *Journal of the Arizona Academy of Science* 6: 278-281.
- ROTH, V.D. 1997. Ditmars' Horned Lizard (*Phrynosoma ditmarsii*) or the Case of the Lost Lizard. *Sonoran Herpetologist* 10: 2-6.
- ROUTMAN, E.J. y A.C. HULSE. 1984. Ecology and Reproduction of a Parthenogenetic Lizard, *Cnemidophorus sonorae*. *Journal of Herpetology* 18: 381-386.
- SARTORIUS, S.S. y P.C. ROSEN. 2000. Reproductive and Population Phenology of the Lowland Leopard Frog in a Semi-Desert Canyon. *Southwestern Naturalist* 45: 267-273.
- SCHULTZ, A.A., O.E. MAUGHAN, S.A. BONAR y W.J. MATTER. 2003. Effects of Flooding on Abundance of Native and Non-Native Fishes Downstream from a Small Impoundment. *North American Journal of Fisheries Management* 23: 503-511.
- SCHWALBE, C.R. y C.H. LOWE. 2000. Amphibians and Reptiles of the Sierra de Álamos. En: R.H. Robichaux y D.A. Yetman, eds. *The Tropical Deciduous Forest of Álamos, Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, pp. 172-199.
- SCOTT, N.J. JR. y R.W. MC DIARMID. 1984. *Trimorphodon tau*. *Catalogue of American Amphibians and Reptiles* 354: 1-2.
- SEMINOFF, J.A. y W.J. NICHOLS. 2007. Sea Turtles of the Alto Golfo: A Struggle for Survival. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry Borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, pp. 505-518.
- SEVIN, C. 1860. Journey to Mexico. *Journal of the Royal Geographical Society of London* 30: 1-53.
- SHERBROOKE, W.C. 1997. Ditmars' Horned Lizard, or Rock Horned Lizard: An Historical Update Since Rediscovery (1970) *Sonoran Herpetologist* 10: 6-8.

- SHERBROOKE, W.C., B.E. MARTIN y C.H. LOWE. 1998. Geographic Distribution: *Phrynosoma ditmarsii*. *Herpetological Review* 29: 110-111.
- SHREVE, F. 1964. Vegetation of the Sonoran desert. En: F. Shreve y I.L. Wiggins, eds. *Vegetation and Flora of the Sonoran Desert*. Stanford University Press, California, pp. 9-186.
- SLEVIN, J.R. 1928. The Amphibians of Western North America. *Occasional Papers California Academy of Science* 16: 1-152.
- SMITH, H.M. 1989. The Status of the Lizard *Coleonyx fasciatus* and the Biological Species Concept. *Bulletin of the American Herpetological Society* 25: 22-24.
- SMITH, H.M., D. CHISZAR y J.A. LEMOS-ESPINAL. 2005a. Geographic Distribution: *Pituophis deppei deppei* (Deppé's gophersnake) *Herpetological Review* 36: 83.
- SMITH, H.M., J.A. LEMOS-ESPINAL, D. HARTMAN y D. CHISZAR. 2005c. A New Species of *Tropidodipsas* (Serpentes: Colubridae) from Sonora, Mexico. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 41: 39-41.
- SMITH, H.M., J.A. LEMOS-ESPINAL y D. CHISZAR. 2005b. First State Records (Chihuahua, Sonora) and a Northern Geographic Variant of the Treefrog *Hyla smithii* of Mexico. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 41: 63-64.
- SMITH, H.M. y D. CHISZAR. 2003. Distributional and Variational Data on the Frogs of the Genus *Rana* in Chihuahua, Mexico, Including a New species. *Bulletin of the Maryland Herpetological Society* 39: 59-65.
- SMITH, H.M. y E.H. TAYLOR. 1950b. Type Localities of Mexican Reptiles and Amphibians. *University of Kansas Science Bulletin* 33: 313-380.
- SMITH, P.W. y M.M. HENSLEY. 1958. Notes on a Small Collection of Amphibians and Reptiles from the Vicinity of the Pinacate Lava Cap in Northwestern Sonora, Mexico. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 61: 64-76.
- SREDL, M.J., E.P. COLLINS y J.M. HOWLAND. 1997a. Mark-Recapture Studies of Arizona Leopard Frogs. En: M.J. Sredl, ed. *Ranid Frog Conservation and Management*. Nongame and Endangered Wildlife Program Technical Report 121, Arizona Game and Fish Department, Phoenix, pp. 1-35.
- SREDL, M.J., J.M. HOWLAND, J.E. WALLACE y L.S. SAYLOR. 1997b. Status and Distribution of Arizona's Native Ranid Frogs. En: M.J. Sredl, ed. *Ranid Frog Conservation and Management*. Nongame and Endangered Wildlife Program Technical Report 121, Arizona Game and Fish Department, Phoenix, pp. 37-89.
- STEBBINS, R.C. 1985. *A Field Guide to Western Reptiles and Amphibians*. 2a. ed. Houghton Mifflin Company, Boston, Massachusetts.
- TAYLOR, E.H. 1938. Notes on the Herpetological Fauna of the Mexican state of Sonora. *University of Kansas Science Bulletin* 24: 475-503.
- TAYLOR, H.L., C.J. COLE, L.M. HARDY, H.C. DESAUER, C.R. TOWNSEND, J.M. WALKER y J.E. CORDES. 2001. Natural Hybridization Between the Teiid Lizards *Cnemidophorus tessellatus* (parthenogenetic) and *C. tigris marmoratus* (bisexual): Assessment of Evolutionary Alternatives. *American Museum Novitates* 3345: 1-65.
- TAYLOR, H.L. e Y. CARAVEO. 2003. Comparison of Life History Characteristics among Syntopic Assemblages of Parthenogenetic Species: Two Pattern Classes of *Aspidoscelis tessellata*, *A. exsanguis*, *A. flagellicauda*, and Three Color Pattern Classes of *A. sonorae* (Squamata: Teiidae) *Southwestern Naturalist* 48: 685-692.
- TAYLOR, H.L. y J.M. WALKER. 1991. Morphological Evidence for the Conspecific Relationship of the Teiid Lizards. *Cnemidophorus tigris aethiops* and *C. tigris gracilis*. *Copeia* 1991: 800-809.
- TURNER, R.M. y D.E. BROWN. 1982. Central Gulf Coast Subdivision. *Desert Plants* 4: 212-217.
- UNMACK, P. y W.F. FAGAN. 2004. Convergence of Differentially Invaded Systems Toward Invader-Dominance: Time-Lagged Invasions as a Predictor in Desert Fish Communities. *Biological Invasions* 6: 233-243.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF INTERIOR, FISH AND WILDLIFE SERVICE. 2002. Endangered and Threatened Wildlife and Plants; Listing of the Chiricahua Leopard Frog (*Rana chiricahuensis*) Final Rule With a Special Rule. *Federal Register* 67(114): 40790-40811.
- VAN DENBURGH, J. 1922. The Reptiles of Western North America. *Occasional Papers California Academy of Science* 10: 1-1028.
- VAN DEVENDER, T.R., A.C. SANDERS, R.K. WILSON y S.A. MEYER. 2000. Vegetation, Flora, and Seasons of the Rio Cuchujaqui, a Tropical Deciduous Forest Near Alamos, Sonora, Mexico. En: R.H. Robichaux y D.A. Yetman, eds. *The Tropical Deciduous Forest of Alamos: Biodiversity of a Threatened Ecosystem in Mexico*. University of Arizona Press, Tucson, pp. 36-101.
- VAN DEVENDER, T.R., J.R. REEDER, C.G. REEDER y A.L.

- REINA-GUERRERO. 2005. Distribution and Diversity of Grasses in the Yecora Region of the Sierra Madre Occidental of Eastern Sonora, Mexico. En: J-L.E. Cartron, G. Ceballos y R.S. Felger, eds. *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern Mexico*. Oxford University Press, Nueva York, pp 107-121.
- VAN DEVENDER, T.R. y C.H. LOWE. 1977. Amphibians and Reptiles of Yepomera, Chihuahua, Mexico. *Journal of Herpetology* 11: 41-50.
- VAN DEVENDER, T.R. y E. ENDERSON. 2007. Geographic Distribution. *Micrurus distans* (West Mexican Coral Snake) *Herpetological Review* 38:488.
- VARELA-ROMERO, A., G. RUIZ y H. BLASIUS. 2004. Advances during 2003 in the Study and Conservation of Native Fishes in Northwestern Mexico (Area Report) *Proceedings of the Desert Fishes Council* 3503: 87.
- VARELA-ROMERO, A., J. CAMPOY-FAVELA y L. JUÁREZ-ROMERO. 1992. Fishes of the Rios Mayo and Fuerte Basins, Sonora and Sinaloa, Mexico. *Proceedings of the Desert Fishes Council* 22 (1990) [21 (1989)]: 70-71.
- VILLALOBOS-FIGUEROA, A. 1983. *Crayfishes of México (Crustacea: Decapoda)* Smithsonian Institution Libraries, and the National Science Foundation. Amerind Publishing, Nueva Delhi, 276 pp.
- VILLALOBOS-HIRIART, J.L., A.C. DÍAZ-BARRIGA y E. LIRA-FERNÁNDEZ. 1993. Los crustáceos de agua dulce de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, vol. esp. XLIV: 267-290.
- WALDICK, R. 1997. Effects of Forestry Practices on Amphibian Populations in Eastern North America. En: D.M. Green, ed. *Amphibians in Decline: Canadian Studies on a Global Problem*. Herpetological Conservation, núm. 1, Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Saint Louis, Missouri, pp. 191-205.
- WALKER, J.M., J.E. CORDES y M.A. PAULISSEN. 1989. Hybrids of Two Parthenogenetic Clonal Complexes and a Gonochoristic Species of *Cnemidophorus*, and the Relationship of Hybridization to Habitat Characteristics. *Journal of Herpetology* 23: 119-130.
- WEBB, R.G. 1972. Resurrection of *Bufo mexicanus* Brocchi for a Highland Toad in Western Mexico. *Herpetologica* 18: 1-6.
- WEBB, R.G. 1984. Herpetogeography in the Mazatlan-Durango Region of the Sierra Madre Occidental, Mexico. En: Richard A. Seigel, Lawrence E. Hunt, James L. Knight, Luis Malaret, Nancy L. Zuschlag, eds. *Vertebrate Ecology and Systematics. A Tribute to Henry S. Fitch*. Special Publications University of Kansas Museum of Natural History 10, pp. 217-241.
- WELDON, C., L.H. DU PREEZ, A.D. HYATT, R. MULLER y R. SPEARE. 2004. Origin of the Amphibian Chytrid Fungus. *Emerging Infectious Diseases* 10: 3-8.
- WELSH, H.H. JR. y S. DROEGE. 2001. A Case for Using Plethodontid Salamanders for Monitoring Biodiversity and Ecosystem Integrity of North American Forests. *Conservation Biology* 15: 558-569.
- WRIGHT, J.W. 1993. Evolution of the Lizards of the Genus *Cnemidophorus*. En: J.W. Wright y L.J. Vitt, eds. *Biology of whiptail lizards (genus Cnemidophorus)*. Oklahoma Museum of Natural History, Norman, pp. 27-81.
- WRIGHT, J.W. y L.J. VITT. 1993. *Biology of the Whiptail Lizards (Genus cnemidophorus)*. Oklahoma Museum of Natural History, Norman.
- WÜSTER, W., J.E. FERGUSON, A. QUIJADA-MASCAREÑAS, C.E. POOK, M.G. SALOMÃO y R.S. THORPE. 2005. Tracing an Invasion: Landbridges, Refugia and the Phylogeography of the Neotropical Rattlesnake (Serpentes: Viperidae: *Crotalus durissus*) *Molecular Ecology* 14: 1095-1108.
- ZALDÍVAR-RIVERÓN A., V. LEÓN-RÉGAGNON y A. NIETO-MONTES DE OCA. 2004. Phylogeny of the Mexican Coastal Leopard Frogs of the *Rana berlandieri* Group Based on mtDNA Sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 30: 38-49.
- ZWEIFEL, R.G. 1956. A Survey of the Frogs of the *augusti* Group, Genus *Eleutherodactylus*. *American Museum Novitates* 1813: 1-36.
- ZWEIFEL, R.G. y K.G. NORRIS. 1955. Contribution to the herpetology of Sonora, Mexico: Descriptions of New Subspecies of Snakes (*Micruroides euryxanthus* and *Lampropeltis getulus*) and Miscellaneous Collecting Notes. *American Midland Naturalist* 54: 230-249.

AVIFAUNA

J. FERNANDO VILLASEÑOR-GÓMEZ,¹ OSVEL HINOJOSA-HUERTA,² EDUARDO GÓMEZ-LIMÓN,³
DAVID KRUEPER⁴ Y AARON D. FLESCHE⁵

RESUMEN. Este trabajo representa una revisión y actualización de la avifauna del estado de Sonora, México. La revisión incluyó registros de 89 artículos y reportes, 16 008 especímenes depositados en colecciones zoológicas de diferentes museos y más de doscientos setenta y ocho mil registros que corresponden a observaciones de campo y datos de anillamiento generados por los autores. Se recopiló una base de datos de más de trescientos doce mil casos en la que se incorporó información que abarca de 1849 a 2008. La avifauna conocida de Sonora incluye 556 especies de 73 familias y 20 órdenes, con 227 especies residentes, 46 residentes de verano, 233 migratorias de larga distancia y 50 migratorias parciales. Especímenes de museos no considerados previamente y datos nuevos adicionaron 31 especies al número reportado por Russell y Monson en 1998 y permitieron evaluar el estatus de otras especies en el estado. Veintiocho especies están en riesgo a escala global de acuerdo a la Lista Roja de las Especies Amenazadas de la IUCN, 290 están incluidas en el Acta de Conservación de Aves Migratorias Neotropicales de Estados Unidos y 66 en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001.

ABSTRACT. This chapter represents a revision and update of the bird species recorded in the state of Sonora, Mexico. The revision included published records of 89 papers and reports, 16 008 specimens deposited in zoological museums, and more than two hundred seventy-eight thousand field observations and banding records from the authors. A database with more than three hundred twelve thousand records was compiled incorporating information from 1849 to 2008. The

avifauna of Sonora includes 556 species belonging to 73 families and 20 orders, with 227 all-year residents, 46 summer residents, 233 long-distance migrants, and 50 partial migrants. Museum specimens not considered previously and new data added 31 species to the number reported by Russell and Monson in 1998, and allowed us to evaluate the status of other species for the state. Twenty-eight of the species are of concern at the global level according to the Red list of Threatened Species of the IUCN, 290 are listed in the Neotropical Migratory Bird Conservation Act in the United States, and 66 are included in Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento sobre la diversidad local y regional es esencial para el manejo de los recursos biológicos, incluyendo la promoción de la conservación de especies (Bojórquez-Tapia *et al.*, 1994). Por esta razón, los listados de especies o inventarios biológicos son esenciales para entender la diversidad de organismos de una región, su historia, función, manejo y conservación. Además, algunos grupos de especies, como las aves, son muy sensibles a los cambios de su entorno y por lo tanto pueden ser usadas como indicadoras de transformaciones del ambiente, a través de cambios en su distribución y diferencias temporales en abundancia (Hutto, 1998).

En términos prácticos, el medio más simple de describir y evaluar la biodiversidad es a través de colecciones. Las aves constituyen el grupo mejor conocido de los vertebrados y por ello han sido empleadas como modelos en muchas áreas de la investigación biológica. Los especímenes de museo,

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

² Pronatura Noroeste.

³ Monte Sonorense.

⁴ U.S. Fish and Wildlife Service.

⁵ University of Montana.

la observación y las actividades de marcaje y recaptura son las fuentes más importantes de información en el estudio de la sistemática, evolución, biogeografía, ecología, conducta y conservación de aves.

México tiene una gran diversidad de condiciones ambientales creadas por una compleja historia geológica, una topografía heterogénea y un rango altitudinal que va del nivel del mar hasta los 5 600 msnm. Además, las regiones Neotropical y Neártica de Norteamérica confluyen en México. Esta diversidad ambiental, junto con diversos procesos biológicos e históricos, han creado niveles altos de diferenciación *in situ* a nivel de especies endémicas y han dado como resultado la extraordinaria diversidad biológica en México (Conabio, 2000). Como consecuencia de tales procesos, se considera a México como una de las regiones megadiversas del mundo (Mittermeier, 1988). Los vertebrados terrestres, incluyendo a los anfibios, reptiles, aves y mamíferos, son de los grupos mejor conocidos en México e incluyen un total de 2 494 especies, de las cuales alrededor de 42.5% son aves (Flores-Villela y Navarro-Sigüenza, 1993).

El estado de Sonora se localiza en la zona donde el límite norte del trópico se encuentra con el límite sur de la región templada, lo que permite una rica mezcla de especies animales y vegetales de orígenes neotropical y neártico. Esta es una región de extremos: del nivel del mar el terreno se eleva hasta más de 2 630 metros, creando un gradiente altitudinal de extraordinaria variación en temperatura y precipitación y, por consecuencia, diversas comunidades vegetales. En la mayor parte del estado el clima es seco con temperaturas altas y precipitación escasa. Sin embargo, la Sierra Madre Occidental modifica este patrón dominante, creando temperaturas menos extremas y precipitación más abundante. Con la excepción de la región de San Luis Río Colorado, en el noroeste del estado (donde las lluvias son más escasas en verano), el Desierto Sonorense se caracteriza por un patrón de precipitación bimodal, con la mayor parte de la lluvia concentrada en el verano y menores niveles durante los meses de invierno. En general, el clima varía durante el año de caliente y seco a húmedo y

frío, con precipitación que varía de casi cero a cerca de cien centímetros (García, 1973).

El estado de Sonora tiene una gran variedad de ambientes, incluyendo matorral desértico, matorral espinoso, pastizal, selva baja caducifolia y bosque de pino-encino (Martínez-Yrizar, *et al.*, este volumen). En esta diversidad de ambientes se incluyen hábitats secos y con poca vegetación, bosques densos y cañones húmedos, así como una línea costera de playas arenosas y acantilados rocosos. El Gran Desierto de Altar en el noroeste del estado es la región más árida, con dunas de arena y vegetación escasa. En la región occidental el clima es seco y semiseco, con planicies, laderas y sierras con diversos matorrales xerófilos. El pie de monte de la Sierra Madre Occidental yace en la región centro-oriental del estado y está cubierta por matorral espinoso y selva baja caducifolia. Finalmente, los bosques de coníferas y de encinos constituyen la vegetación de las montañas más altas de la porción oriental. En los valles ribereños la vegetación está constituida por bosques riparios de galería y campos irrigados. Dentro del estado de Sonora se han definido cuatro regiones fisiográficas: la Llanura Sonorense en el noroeste y occidente, la Sierra Madre Occidental en el oriente, las Sierras y Llanuras del Norte en la región centro-norte y la Llanura Costera del Pacífico en el sur (INEGI, 2000).

Considerando la diversidad ambiental y la importancia de las aves como grupo, es importante resumir y sintetizar la investigación que se ha realizado a la fecha para establecer un marco del conocimiento ornitológico para futuros estudios. En este contexto, los objetivos de este capítulo son: a) describir la historia de la investigación ornitológica del estado y, b) presentar un inventario actualizado de la avifauna conocida de Sonora. Como un producto asociado, se generó una base de datos actualizada de los registros de aves del estado.

MÉTODOS

Usamos tres fuentes de información: a) datos sobre especímenes de aves depositados en diversos mu-

seos zoológicos del mundo indexados en la base de datos del *Atlas de las aves de México* (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2003), así como datos adicionales de catálogos de colecciones en línea (UNAM, 1999; UABC, 2003; YPM, 2006; CAS, 2006; FMNH, 2006; MCZHU, 2006; MVZ-Berkeley, 2006; tabla 1); b) una revisión de la literatura ornitológica que refería directa o indirectamente a registros de aves de Sonora; c) datos obtenidos a través de trabajo de campo en Sonora, que incluyen registros de observaciones directas e individuos marcados. La información se compiló en una base de datos e incluyó cinco tablas: especímenes, listados taxonómicos de acuerdo a la séptima edición del Listado de Aves de Norteamérica y sus suplementos (American Ornithologists' Union, 1998 y 2009), localidades, fuentes y autores. Los nombres comunes en español se basan en Russell y Monson (1998) o Escalante *et al.* (1996). Aunque esta compilación representa un esfuerzo considerable por actualizar el inventario de aves de Sonora, existe todavía información adicional reciente sobre observaciones y actividades de marcaje que no ha sido publicada o se encuentra en proceso de recopilación y análisis y, por lo tanto, no pudo ser incluida en este trabajo.

RESULTADOS

Registros de aves de Sonora

La compilación de aves de Sonora incluyó 312 859 registros de 556 especies de aves, de 73 familias y 20 órdenes. Esta información cubre un período de 157 años (de 1849 a 2008) y 1 653 localidades del estado.

Especímenes de aves

Sólo cinco por ciento de los registros (16 008) son especímenes de 426 especies colectados en 810 localidades y depositados en 41 instituciones, de las cuales más de la mitad son museos localizados en Estados Unidos. Más de 53% de los especímenes estuvieron concentrados en tres instituciones: el Museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard, la Universidad de California en Los

Ángeles y el Museo de Zoología de la Universidad Estatal de Louisiana (tabla 1). Algunos especímenes se localizaron en colecciones de Canadá, Inglaterra, Holanda, Alemania y Rusia. Solamente 224 especímenes (1.4%) se encuentran catalogados en instituciones mexicanas. Los especímenes de las colecciones fueron colectados entre 1859 y 2001. Son evidentes dos fases de recolecta intensa (figura 1). Durante el primer período, de 1882 a 1891, las contribuciones más importantes fueron las de Marston Abbott Frazar, quien colectó principalmente en la región de Álamos, y las de John C. Cahoon, quien colectó en las sierras alrededor de Oposura (hoy Moctezuma). Ambos colectores trabajaron para William Brewster y sus especímenes fueron depositados en el Museo de Zoología Comparada. Durante la Revolución Mexicana (1911-1921) se suspendió la colecta científica por cuestiones de seguridad y se colectaron sólo 23 especímenes. Durante los diez años posteriores a la revolución mexicana (1922-1931) las condiciones sociales mejoraron y se realizaron colectas importantes por parte de John T. Wright en el Delta del Río Colorado y en las montañas del sur de Sonora cerca de Guirocoba. Otros colectores sobresalientes en Sonora fueron Wilmot W. Brown Jr., Lawrence M. Huey, Chester C. Lamb, Adriaan Joseph Van Rossem, William J. Sheffler y Allan R. Phillips.

Literatura ornitológica

Las publicaciones entre 1874 y 2005 (89) aportaron 8 750 registros (tabla 2). La mayoría de los registros fueron presentados en revistas ornitológicas tales como: *The Auk* (13 artículos), *The Condor* (12), *American Birds* (7), *Wilson Bulletin* (6), *Western Birds* (5), *Studies in Avian Biology* (3), *Journal of Raptor Research* (2), *Journal of Field Ornithology* (1), *Journal of Wildlife Management* (1), *Pacific Coast Avifauna* (1), *The Euphonia* (1), *Colonial Waterbirds* (1) y *Continental Birdlife* (1). Otros artículos aparecieron en revistas de sociedades de historia natural tales como: *Transactions of the San Diego Natural History Society* (16), *Proceedings of the U.S. National Museum* (2), *Memoirs of the Boston Society of Natural History* (1) y *Proceedings of*

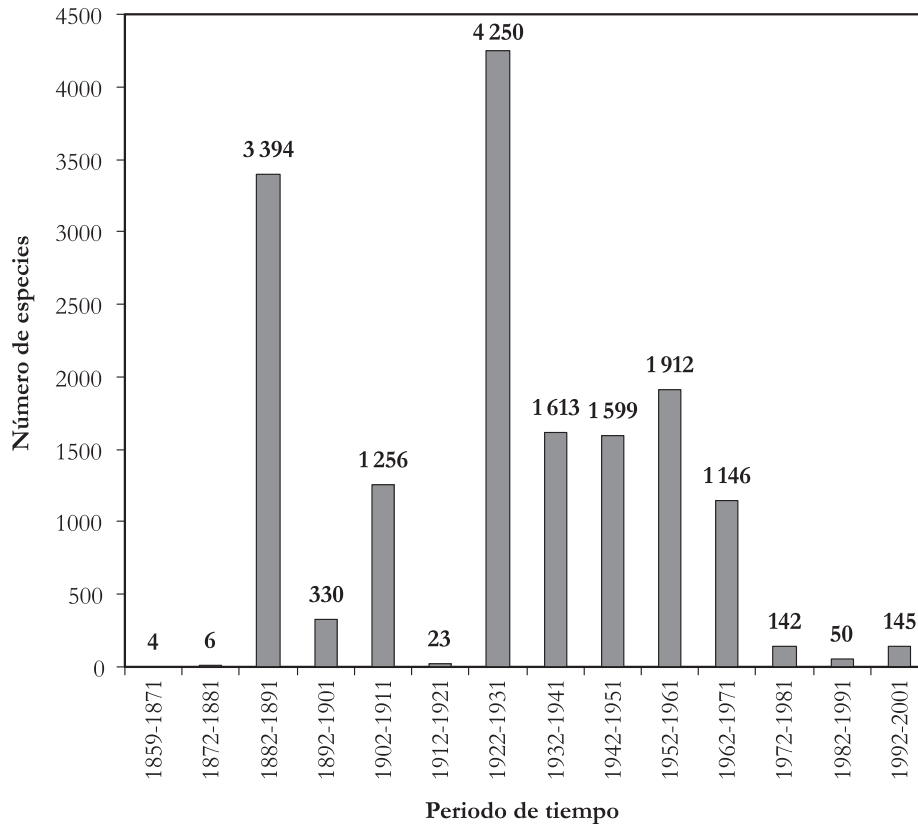


Figura 1. Número de especímenes colectados en Sonora entre 1859 y 2001, en intervalos de 10 años

the Biological Society of Washington (1). Pocas menciones se hicieron en reportes técnicos y tesis universitarias.

Las dos contribuciones más importantes a la ornitología de Sonora son el libro de Van Rossem (1945) publicado como *Occasional Papers of the Museum of the Louisiana State University* y el libro de Russell y Monson (1998) publicado por University of Arizona Press. Solamente tres artículos han aparecido en revistas científicas mexicanas (*Acta Zoológica Mexicana* y *Anales del Instituto de Biología*, UNAM). Debido a la forma como se presenta la información en el libro de Russell y Monson (1998), hemos incluido sólo los registros que se mencionan explícitamente en el texto del libro. En suma, las publicaciones revisadas incluyen un total de 527 especies de 954 localidades. Algunos datos publicados reportan especímenes colectados sin referencia alguna al colector, números o instituciones. El trabajo de Van Rossem (1945) incluye información sobre la mayoría de los especímenes colectados antes de 1945.

Datos derivados de trabajo de campo de los autores

A partir de 1998 hemos realizado trabajo de campo ornitológico en 454 localidades del estado de Sonora. A través de conteos puntuales se registraron 417 especies de un total de 278 843 observaciones de campo. Se llevó a cabo una intensa actividad de captura y marcaje en nueve localidades (Baviácora y Aconchi en el río Sonora, Térapa y Jécori en el río Moctezuma y en el Cajón de Onapa, Bámori en el río Sahuaripa y Ciénega de Santa Clara, El Doctor y Corredor Ripario en el Delta del Río Colorado); en total se marcaron 9 258 individuos de 134 especies, los cuales se liberaron después de tomar datos básicos de morfometría.

Historia de los estudios ornitológicos del estado de Sonora

El registro de aves «al sur de la frontera» en Sonora ha cautivado a muchos naturalistas, científicos y observadores de aves estadounidenses. Estos ob-

servadores se han sentido atraídos por la diversidad de las comunidades de aves constituidas por especies tropicales y subtropicales que alcanzan su límite septentrional no muy lejos de la frontera con Estados Unidos. De igual forma, las islas y áreas costeras del Golfo de California, la «*terra incognita*» (Stephens, 1885), representada por los desiertos al sur de la frontera, las montañas aisladas, la Sierra Madre Occidental y las comunidades tropicales y subtropicales del sur de Sonora, atrajeron el interés de muchos naturalistas y colectores.

De acuerdo con Van Rossem (1945), el primer ejemplar colectado en Sonora fue el espécimen tipo de *Picolaptes bruneicapillus* Lafrasnaye, el cual fue obtenido cerca de Guaymas o Agiabampo en 1835 por un colector desconocido. John Woodhouse Audubon menciona algunas aves en sus notas de viaje a lo largo de Sonora, de la Sierra Madre a Altar y Sonoyta, en 1849; sin embargo, no se obtuvieron especímenes en su expedición. Entre 1851 y 1855 el doctor C.B. Kennerly colectó algunos especímenes cerca de Guaymas, Nogales y el Cañón de Guadalupe en la frontera entre México y Estados Unidos (Van Rossem, 1931a). A.J. Grayson colectó ejemplares de cuatro especies en Guaymas durante 1860, los cuales fueron incluidos en un reporte sobre las aves del occidente de México (Lawrence, 1874) y Thomas Streets colectó algunos especímenes en Sonora durante el mes de abril de 1875 (Van Rossem, 1945).

Los reportes sobre las aves de Sonora aumentaron en la parte final del siglo XIX, cuando la colecta activa y la descripción de formas taxonómicas eran los principales objetivos de los museos de historia natural. Estos museos contrataron a colectores científicos, incluyendo a Abbot M. Frazar y a John C. Cahoon, y organizaron expediciones generales para documentar la distribución de la avifauna de las regiones de Guaymas, Álamos, Cumpas y Moctezuma. Como resultado de este trabajo pionero, se publicaron varios listados sin mucho detalle de localidades o especímenes, tales como una lista de 46 especies de Guaymas (Belding, 1883), cinco especies marinas para la isla de San Pedro Mártir (Goss, 1888), 104 especies de 18 localidades durante la expedición arqueológica de Lumholtz en el período

1890-1892 (Allen, 1893), 29 especies colectadas en 1884 por F. Stephens entre Sásabe y Puerto Lobos (Stephens, 1885; Brewster, 1885), una descripción de las aves de invierno del río Colorado en Sonora y Baja California (Price, 1899) y una lista de 67 especies para la sierra de San Antonio al oeste de Arizpe (Thayer y Bangs, 1906).

Las islas del Golfo de California y localidades costeras fueron puntos importantes de algunas expediciones científicas y visitas ocasionales entre 1875 y el año 2000. En marzo y abril de 1911, cuando el barco pesquero «Albatross» visitó la península de Baja California y el Golfo de California y sus islas, C.H. Townsend, H.E. Anthony, P.I. Osburn y P. Bartsh colectaron 804 especímenes de 159 especies. Un total de 32 especies se obtuvieron u observaron en Sonora en las islas del Tiburón y San Esteban, así como en Guaymas. La Isla del Tiburón fue visitada de nuevo en mayo de 1930 por Griffin Bancroft y entre diciembre de 1931 y enero de 1932 por A.W. Anthony y A.J. Van Rossem. Todas sus notas y registros de especímenes están incluidos en una publicación sobre la avifauna de esta isla por A.J. Van Rossem (1932), en la que se reportan un total de 81 especies. Posteriormente, Charles Vaurie pasó algunos días en la Isla del Tiburón durante julio de 1952 y agregó seis especies más a la lista de Van Rossem (Vaurie, 1953). Lawrence M. Huey pasó el mes de febrero en Puerto Peñasco y registró 75 especies (Huey, 1935). Clinton G. Abbott visitó Guaymas en abril de 1940 y publicó observaciones sobre 23 especies acuáticas (Abbott, 1941).

Entre el 15 de marzo y el 26 de abril de 1962, el Museo de Historia Natural de San Diego organizó una expedición (Belvedere) con el objetivo de explorar 32 islas del Golfo de California (Lindsay, 1962). En esta expedición, Richard C. Banks registró un total de 36 especies en las islas del Tiburón, San Pedro Mártir y San Esteban (Banks, 1963). Octavio Rojas-Soto y colaboradores visitaron la Isla del Tiburón en febrero de 2000 y obtuvieron un listado de 137 especies a partir de una revisión de la literatura y de especímenes depositados en museos; de éstas, 41 especies fueron nuevas adiciones

a la avifauna de la Isla del Tiburón (Rojas-Soto *et al.*, 2002).

Las colectas en la parte continental del estado de Sonora fueron iniciadas por John C. Cahoon, quien trabajó para William Brewster en 1887. Sus colectas incluyen especímenes obtenidos en el área de Cumpas, Oposura (hoy Moctezuma) y Granados. Abbott M. Frazar hizo grandes colectas para William Brewster en 1888, trabajando principalmente en el sur de Sonora [Álamos, Mina Abundancia (San Antonio, al noroeste de Álamos) y Hacienda de San Rafael (noreste de Álamos)].

John T. Wright trabajó como colector de Grif-fing Bancroft de forma continua entre 1928 a 1930; la información de más de 3 550 especímenes, así como de otros colectados por W. Leon Dawson, F. Stephens, G. Bancroft, A.J. Van Rossem y A.W. Anthony fue incluida en un reporte sobre las aves terrestres de Sonora, el primer estudio detallado del estado, que incluyó un listado de 205 especies (Van Rossem, 1930g).

Durante la década de 1930, A.J. Van Rossem publicó una nota donde agregaba trece nuevas especies al estado de Sonora (Van Rossem, 1933b). Chester C. Lamb, otro colector profesional, trabajó durante 1932 y 1933 en El Álamo, Hermosillo, Rancho Costa Rica, San José de Guaymas, Ures y Agiabampo, obteniendo cerca de doscientos especímenes. Entre 1933 y 1937 Robert T. Moore realizó cuatro viajes para estudiar la distribución de las aves del sur de Sonora, suroeste de Chihuahua y Sinaloa, cubriendo desde el nivel del mar hasta las montañas de la Sierra Madre. A partir de estas expediciones, Moore publicó información sobre nuevos registros del rango de distribución de 13 especies (Moore, 1938).

Johnson A. Neff y George W. Paterson estudiaron entre mayo y julio de 1942 la distribución y abundancia de la paloma ala blanca (*Zenaida macroura*) en Sonora. Sus notas sobre la avifauna general fueron publicadas años después e incluyeron una lista pequeña de observaciones sobre 22 especies (Neff, 1947).

El primer estudio completo con información taxonómica y de distribución de la avifauna de un

estado del macizo continental de México fue la monografía de A.J. Van Rossem sobre las aves de Sonora (1945). Este trabajo fue el resultado de un gran esfuerzo por compilar información de especímenes de museo, observaciones y registros de publicaciones previas. La monografía incluyó registros sobre la distribución de 407 especies y una lista de 37 especies cuya presencia en el estado no había sido verificada. Un análisis crítico de los datos le permitió distinguir casos de migración, actividad reproductiva y registros invernales. Posteriormente, dos publicaciones importantes resumieron la distribución de las aves de México (Friedmann *et al.*, 1950; Miller *et al.*, 1957). El tratamiento a nivel de subespecie de estas dos publicaciones se sigue utilizando en la actualidad.

Van Rossem (1945) incluyó una sección sobre nuevas formas descritas a nivel de especie o subespecie basada en especímenes colectados en Sonora (tabla 3). A partir de un total de 111 formas descritas entre 1835 y 1945, así como una descrita posteriormente, en la actualidad 46 se consideran todavía como especies o subespecies válidas, 24 se consideran como sinónimos y 41 han cambiado de nombre como resultado de modificaciones en su ubicación taxonómica. El espécimen tipo de *Cyanomia salvini* resultó ser un híbrido entre el colibrí pico ancho (*Cynanthus latirostris*) y el colibrí corona violeta (*Amazilia violiceps*) (Brewster, 1893; Graves, 2003) y se desconoce el paradero del espécimen tipo del colibrí de Florence [*Saucerottia (Amazilia) florenceae*] —el único espécimen conocido para la especie—, que se considera posiblemente perdido. Frank A. Pitelka reportó nueve especies registradas en varias localidades de Sonora durante octubre y noviembre de 1946 (Pitelka, 1948).

Allan R. Phillips y Dean Amadon estudiaron la avifauna y colectaron especímenes en el noroeste del estado; visitaron Altar, Caborca, Pitiquito, Sierra Carrizal (San Juan) y Sonoyta durante octubre y noviembre de 1948 y reportaron una lista de 62 especies (Phillips y Amadon, 1952). La contribución más importante sobre nuestro conocimiento de las aves de los bosques de pino-encino del noroeste de México fue el estudio de Joe T. Marshall

realizado entre 1951 y 1955 en varias sierras de Arizona, Nuevo México y Sonora (Marshall, 1957); él reportó 137 especies para 13 sierras de Sonora. Recientemente algunas sierras del sistema de «Islas del Cielo», localizadas al oeste de las sierras visitadas por Marshall, fueron visitadas y descritas por Flesch y Hahn (2005).

Durante la década de los años sesenta Richard C. Banks publicó un análisis de las relaciones biogeográficas de la avifauna de la isla San Esteban, localizada aproximadamente a la mitad del Golfo de California entre Sonora y Baja California. Banks estudió las afinidades de siete especies y concluyó que están asociadas con la parte continental de Sonora (Banks, 1969). En 1969 se publicó una guía de identificación de especies del occidente de México, dirigida principalmente a los observadores de aves (Alden, 1969). Entre 1969 y 1973, L.A. May estudió la fauna de vertebrados del Gran Desierto de Altar y registró una lista de 153 especies de aves (May, 1976). Durante julio y agosto de 1971, Lester L. Short visitó la selva baja caducifolia de Álamos en el sur de Sonora. Como parte de un estudio de la relación entre las lluvias de verano y la época de anidación, su reporte incluyó registros detallados de 86 especies que se reproducen en la región y una lista de nueve especies no reproductivas (Short, 1974).

Stephen M. Russell y Donald W. Lamm aportaron información sobre el estatus de 65 especies de aves de Sonora, incluyendo registros de veinte especies nuevas para el estado (Russell y Lamm, 1978). Durante abril y mayo de 1978, Thomas O. Clark y Dean Hendrickson recabaron de manera incidental información sobre aves como parte de un estudio sobre peces del oriente de Sonora y publicaron datos sobre seis especies importantes: guacamaya verde (*Ara militaris*), aguililla cola blanca (*Buteo albicaudatus*), mulato azul (*Melanotis caerulescens*), parula tropical (*Parula pitiayumi*), tångara dorso rayado (*Piranga bidentata*) y el bolsero castaño (*Icterus spurius*) (Clark, 1984). Recientemente, de 2000 a 2007, Aaron Flesch desarrolló un estudio detallado de las aves reproductoras en el norte de Sonora, durante el cual detectó 161 espe-

cies que anidan en 306 localidades (Flesch, 2008). El estudio aportó información valiosa sobre cambios en la comunidad de aves y en la actualización del estatus de varias especies en el estado, incluyendo a la aguililla cola corta (*Buteo brachyurus*), al mosquero barranquero (*Empidonax occidentalis*) y al chipe roquero (*Euthlypis lachrymosa*).

Varios trabajos se han enfocado al estudio de especies particulares de Sonora, tales como: el carpintero imperial (*Campephilus imperialis*) (Ridgway, 1887b); el primer registro en México del pato arlequín (*Histrionicus histrionicus*) (Kaufman y Witzeman, 1979); una observación sobre la lavandera blanca (*Motacilla alba*) (Morlan, 1981); el registro de la primera águila cabeza-blanca (*Haliaeetus leucocephalus*) anidando en Sonora (Brown *et al.*, 1987); el estatus del chorlo chiflador (*Charadrius melodus*) (Howell, 1993) y la grulla gris (*Grus canadensis*) (Drewien *et al.*, 1996) en México, con información específica de registros de Sonora; el estatus de la cotorra serrana occidental, águila real y probablemente el último registro del carpintero imperial en Sonora (Lammertink *et al.*, 1996) y reportes invernales de cisne de tundra (*Cygnus columbianus*) cerca de Ciudad Obregón y otra localidad no especificada de la costa de Sonora (Drewien y Benning, 1997).

Eric Mellink y Eduardo Palacios describieron las comunidades de aves acuáticas reproductivas en la bahía de San Jorge, en islas cercanas y en el estero San Francisquito, en el extremo noroeste de Sonora (Mellink y Palacios, 1993), así como las comunidades de aves de los esteros San José y Tóbari en la costa sur de Sonora (Palacios y Mellink, 1995) y las aves de la Ciénega de Santa Clara en la costa del noroeste de Sonora (Mellink *et al.*, 1996 y 1997). Otro estudio describió las comunidades de aves acuáticas asociadas a humedales del Delta del Río Colorado en los estados de Sonora y Baja California, donde se registraron 71 especies (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2004). Por otra parte, la avifauna reproductiva de la isla Alcatraz (cerca de Bahía Kino) fue estudiada por Duberstein *et al.* (2005). Posteriormente se evaluó el estatus de la avifauna en la región del Alto Golfo de California de Baja Cali-

fornia y Sonora, con una compilación de una lista anotada de las aves en la región y un análisis de las necesidades para su conservación (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007).

El primer estudio específico sobre la avifauna de vegetación riparia de Sonora fue el estudio de Scott B. Terrill y Ken y Gary Rosenberg. Ellos estudiaron dos sitios de vegetación riparia de álamo y sauce durante los inviernos de 1979-1980 (en San Rafael en el río Sonora, cerca de Ures y en San Ignacio en el río Magdalena, cerca de Magdalena de Kino) y registraron 114 y 102 especies en Ures y Magdalena, respectivamente (Terrill, 1981). Por su parte, Fernando Villaseñor evaluó durante 2004-2006 la importancia de los sistemas riparios de Sonora para las aves durante el invierno. Durante el estudio se visitaron 1 816 puntos de conteo en 87 localidades, en los que se identificaron 253 especies en 14 tipos de vegetación (Villaseñor-Gómez, 2006 y 2008). Entre 2002 y 2005, en la región del Delta del Río Colorado, Hinojosa-Huerta y colaboradores (2008a) analizaron los patrones de abundancia y riqueza de especies en el bosque ripario del río Colorado con el fin de identificar relaciones de hábitat y relaciones con variables hidrológicas y definir recomendaciones de restauración. En total se registraron 193 especies y 145 376 individuos y se logró determinar que la comunidad de aves se ha recuperado parcialmente en respuesta a los flujos excedentes a través del río Colorado, con presencia de varias aves especialistas en sistemas riparios, tales como el cuco piquiamarillo (*Coccyzus americanus*) y el mosquero cardenalito (*Pyrocephalus rubinus*), que se consideraban extirpados de la región.

Otros estudios han abordado preguntas más específicas usando a las aves de Sonora. Por ejemplo, Peter B. Landres y James A. MacMahon estudiaron en 1977 la organización de la comunidad reproductiva de aves del bosque de encinos de la sierra La Púrica cerca de Nacozari (Landres y MacMahon, 1980). John M. Bates estudió la conducta territorial invernal y la ecología de la alimentación en relación con los torotes (*Bursera microphylla*) en los vireos grises (*Vireo vicinior*) de la costa desérti-

ca de Sonora (Bates, 1992a y 1992b). Iriana Zuria y Eric Mellink (2005) estudiaron la relación entre la cronología de la anidación y la abundancia de peces en el charrán mínimo (*Sternula antillarum*) en La Purinera, Bahía de San Jorge, en el noroeste del estado de Sonora.

Las aves rapaces de Sonora han sido objeto de diversos estudios. Estos incluyen la estimación de la abundancia y uso de hábitat a lo largo de los ríos Bavispe y Yaqui (Rodríguez-Estrella y Brown, 1990a, 1990b y 1990c), así como reportes sobre el estatus y productividad de águilas pescadoras (*Pandion haliaetus*) a lo largo de la costa del estado (Cartron, 2000) e información sobre la distribución del águila real (*Aquila chrysaetos*) (Rodríguez-Estrella, 2002). Más recientemente, un estudio sobre las tendencias poblacionales del tecolote bajo (*Glaucidium brasilianum*) del norte de la entidad estimó una disminución de la abundancia de 9.2% anual entre los años 2000 y 2004, así como también identificó los factores asociados con la reducción poblacional (Flesch y Steidl, 2006).

Quizá el estudio más extenso sobre una especie de ave de Sonora es el trabajo de Aaron D. Flesch sobre la distribución, abundancia y los factores asociados con el uso y selección de hábitat del tecolote bajo a lo largo de un transecto de mil cien kilómetros que incluye siete tipos de vegetación de Sonora (Flesch, 2003). Este estudio fue resultado de los esfuerzos por entender la ecología de estos tecolotes con el objeto de ayudar a la recuperación de la especie en el vecino estado de Arizona, donde las poblaciones se han reducido hasta llegar casi a su extirpación de la región.

Otras investigaciones sobre especies particulares incluyen el estudio sobre abundancia, distribución y uso de hábitat del palmoteador de Yuma (*Rallus longirostris yumanensis*) en el Delta del Río Colorado (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2001a y 2008b), con el que se determinó que la Ciénega de Santa Clara mantiene 75% de la población total de la subespecie, alrededor de seis mil individuos; se identificaron medidas para la protección y recuperación de esta ave y se han analizado las tendencias poblacionales de la subespecie entre 1999 y 2006. Por

otra parte, también se analizó el estatus poblacional del ralito negro (*Laterallus jamaicensis coturniculus*) en la región (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2001b) y se describió la primera detección de la especie en Sonora y su precario estatus poblacional con menos de cincuenta parejas, además de que se hicieron recomendaciones para su protección dentro de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

En el libro sobre las aves de Sonora, Russell y Monson (1998) describen el estatus y distribución de 525 especies de aves de Sonora e incorporan información sobre los patrones estacionales de ocurrencia, abundancia y hábitats donde se encuentran. Ellos incluyen a 35 especies que consideran como hipotéticas (aquellas «...reportadas con documentación sustancial pero sin el respaldo de un espécimen, una fotografía con evidencia clara de su identidad o información detallada de varios observadores»). En este libro se incluye la información de la publicación de Van Rossem (1945), se integran y resumen los datos de especímenes colectados después del trabajo de este investigador y se agregan las observaciones de los propios autores hasta 1994. Su trabajo se considera como el segundo esfuerzo más importante por compilar los datos sobre la avifauna de Sonora. Desafortunadamente, no se incluyeron los registros de aves de las islas del Golfo de California.

Especies de aves registradas en el estado de Sonora

La avifauna conocida de Sonora incluye 556 especies (apéndice I en disco compacto), que representan 52% de las 1 070 que se han registrado en México (Howell y Webb, 1995). Estas especies pertenecen a 73 familias de 20 órdenes. Siguiendo los criterios de Russell y Monson (1998), consideramos a 25 especies como «hipotéticas» para el estado (apéndice I en disco compacto). Las familias más numerosas son Parulidae (chipes, 43 especies), Emberizidae (gorriones, zacatoneros y rascadores, 37 especies), Anatidae (cisnes, gansos y patos, 36 especies), Tyrannidae (mosqueros, 36 especies), La-

ridae (gaviotas, charranes y rayadores, 28 especies), Scolopacidae (playeros y falaropos, 28 especies) y Accipitridae (gavilanes, águilas y aguilillas, 22 especies) (tabla 4 y, en disco compacto, apéndice 1). La información más reciente permite agregar a la lista de aves de Sonora al colimbo piquiamarillo (*Gavia adamsii*), al bobo enmascarado (*Sula dactylatra*), al bobo pata-roja (*Sula sula*), al milano tijereta (*Elanoides forficatus*), al ralito negro (*Laterallus jamaicensis*), a la tórtola turca (*Streptopelia decaocto*), al perico frente naranja (*Aratinga canicularis*), al mosquero pálido (*Empidonax alnorum*) y al vireo garganta amarilla (*Vireo flavifrons*), entre otras especies. Cuestionamos la validez del espécimen de la codorniz californiana (*Callipepla californica*), supuestamente colectado en el estado de Sonora. Confirmamos la presencia de doce especies consideradas por Russell y Monson (1998) como hipotéticas, incluyendo al pato silbón (*Anas penelope*), fulmar norteño (*Fulmarus glacialis*), jacana norteña (*Jacana spinosa*) y tordo canadiense (*Euphagus carolinus*) e incluimos al salteador colilargo (*Stercorarius longicaudus*), al charrán embridado (*Onychoprion anaethetus*) y al mosquero gorjiblanco (*Empidonax albigularis*) como especies hipotéticas para el estado (véase sección «Registros de aves que ameritan comentarios»).

De acuerdo con su estatus estacional, 227 especies (40.8%) son «residentes permanentes», 46 (8.3%) son «residentes de verano» que se reproducen en la región pero que pasan el invierno en otra área y 233 (41.9%) son migratorias que pasan el invierno en Sonora. Después de la época reproductiva en el norte, algunas poblaciones migran de sus territorios de verano y llegan a unirse a las poblaciones residentes en el sur de su rango de distribución; hemos definido a este grupo como «migrantes parciales». La complejidad de estos movimientos migratorios dificulta distinguir a las poblaciones migrantes de las residentes sin el uso de marcas, herramientas moleculares o isótopos estables. Cincuenta especies (9%) de las registradas en Sonora se consideran «migrantes parciales»; la mayoría de estas especies pertenecen al grupo de los «migrantes de distancia corta», que incluye a miem-

bros de la familias Emberizidae, Icteridae (tordos y bolseros), Parulidae y Accipitridae, entre otras familias. Otras especies se incluyen en este grupo debido a que poseen poblaciones que son claramente residentes y migrantes, tales como el pato de collar y el pato mexicano (*Anas p. platyrhynchos* y *A. p. diazi*, respectivamente), el chivirín saltapared (*Troglodytes aedon parkmani* y las poblaciones residentes de montaña de *T. a. brunneicollis* y *T. a. cahooni*) y el chipe amarillo (*Dendroica petechia*), donde el grupo *aestiva* se comporta como migrante y el grupo *erithacoroides* como residente exclusivo de manglares.

Algunos individuos de especies residentes de verano pueden permanecer en el territorio reproductivo durante el invierno. Fernando Villaseñor observó a varios individuos del garrapatero pijuy (*Crotophaga sulcirostris*) en diciembre y febrero de 2004 y 2005 en Álamos, Presa Chiculi, Presa Mocúzari, Granados y Huásabas. Un espécimen del tecolote enano (*Micrathene whitneyi*) depositado en el Museo Británico se colectó en noviembre de 1895 y observaciones posteriores reportan su presencia de noviembre a marzo (Moore, 1938; Russell y Monson, 1998). Varios especímenes de museo del chotacabras menor (*Chordeiles acutipennis*) se colectaron durante noviembre y enero por Brown en 1905, por Wright en 1929 y 1930 y por Phillips en 1952; Russell y Monson (1998) reportan registros para diciembre de 1982 y Villaseñor registró a la especie en febrero de 2004, todos al sur de Hermosillo. Van Rossem (1945) y Russell y Monson (1998) mencionan la presencia en invierno del tapacamino cuerporrúin norteño (*Caprimulgus vociferus*), documentada por el espécimen colectado por Frazar en Álamos durante febrero de 1888. Villaseñor observó a esta especie en enero de 2005 en Baviácora, en el río Sonora. A. Moorhouse observó al papamosca tirano (*Myiarchus tyrannulus*) durante enero y febrero en el rancho Lo de Campa y en Moctezuma (Russell y Monson, 1998) y también fue observado por Villaseñor y colegas en el centro y sur de Sonora. La tångara roja (*Piranga rubra*) pasa el invierno en Sonora [varios especímenes colectados por A.R. Phillips (Canadian Museum of Nature,

sin número) y diversas observaciones durante los conteos de aves de navidad por Scott B. Terrill, Linda S. Terrill, Eduardo Gómez Limón y Villaseñor han aportado evidencia de su presencia durante el invierno]. Diversos reportes incidentales de habitantes del Cajón de Onapa sugieren la presencia de guacamaya verde (*Ara militaris*) en cañones protegidos al norte de Sahuaripa durante el invierno. Por otra parte, algunos individuos no reproductivos de por lo menos veinte especies que pasan el invierno en Sonora pueden permanecer y vivir todo el año en el estado, incluyendo patos, garzas, gaviotas, charranes y algunas aves terrestres (apéndice 1 en disco compacto).

Doce especies acuáticas se consideran como accidentales en Sonora, con sólo uno o dos registros conocidos que extienden su rango normal de distribución hacia el sur o norte. Treinta y seis especies migratorias son «accidentales», ya que se han registrado en Sonora menos de cinco veces, lejos de su rango de distribución normal. Dieciocho de ellas son chipes que se reproducen en la región boreal y en el sureste de Estados Unidos y pasan el invierno en el sur de México y Centroamérica (Kelly y Hutto, 2005).

Con respecto a sus hábitos, 162 especies de aves de Sonora son acuáticas, 380 terrestres y catorce principalmente aéreas (golondrinas y vencejos) (figura 2). Entre las especies acuáticas, 78 son marinas (10 pelágicas, 63 costeras y 5 ocupan ocasionalmente el agua dulce del interior), sesenta especies son esencialmente de agua dulce (16 habitan exclusivamente agua dulce del interior, 8 son de estero y 36 de estero y del interior) y 24 especies usan indistintamente tanto aguas de la costa como del interior. De las 380 especies terrestres, 29 se distribuyen a baja altitud (generalmente menos de 1 100 metros, por debajo del límite del bosque de encino), 69 se distribuyen en montañas con altitudes superiores a los 1 100 metros y 282 tienen una distribución más amplia en el gradiente altitudinal. De las especies de montaña, 28 muestran migraciones altitudinales con movimientos invernales hacia tierras bajas; estos movimientos altitudinales les pueden ayudar a evitar las bajas temperaturas o

a vivir temporalmente en lugares con mayor disponibilidad de alimento (Howell y Webb, 1995); la mayoría de estas especies se han registrado principalmente en ambientes riparios.

En el estado se han establecido varias especies exóticas, que en su mayoría se han adaptado a los ambientes humanos. Tales son los casos de la paloma doméstica (*Columba livia*), la tórtola turca (*Streptopelia decaocto*) (E. Gómez-Limón, A. Flesch y O. Hinojosa, 2006, obs. pers.), el estornino europeo (*Sturnus vulgaris*) y el gorrión doméstico (*Passer domesticus*). También se han establecido poblaciones del faisán de collar (*Phasianus colchicus*) en el valle agrícola de San Luis Río Colorado, cerca de la frontera de Estados Unidos y México en la región noroeste del estado (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007), probablemente como consecuencia de las liberaciones de la especie, relacionadas con la cacería desde las primeras décadas del siglo XX, en el valle Imperial en California, en el Bajo Río Colorado en Arizona y en el valle de Mexicali en Baja California (Brown, 1989; Patten *et al.*, 2001).

Algunas especies se ven favorecidas y se establecen en nuevas áreas mientras que otras sufren las con-

secuencias de los cambios en sus ambientes naturales. El caso mejor conocido de extinción de aves en Sonora es el del carpintero imperial, el cual habitaba los bosques de coníferas y requería de árboles grandes para alimentarse y anidar; los últimos registros de Sonora son las observaciones en el rancho Las Tinajas entre febrero y mayo de 1993, en la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre Occidental (Lammertink *et al.*, 1996).

Aunque no se conocen otros casos de aves extintas o extirpadas de Sonora, existe evidencia que indica la extirpación de algunas especies. Algunos casos son el de la tángara cabeza roja (*Piranga erythrocephala*), colectada en 1888 por M. Frazar y en 1933 por W.H. Burt; el tecolote vermiculado (*Megascops guatemalae*), reportado por última vez en 1958, y el halcón enano (*Falco rufigularis*), que fue registrado por última vez en Sonora en 1949 y probablemente extirpado por colecta excesiva de la población cercana a Guirocoba (Russell y Monson, 1998). Todas estas especies son típicas de los bosques tropicales y de montaña y probablemente las alteraciones ambientales de sus hábitats llevaron a la extirpación local en el límite norte de su distribución.

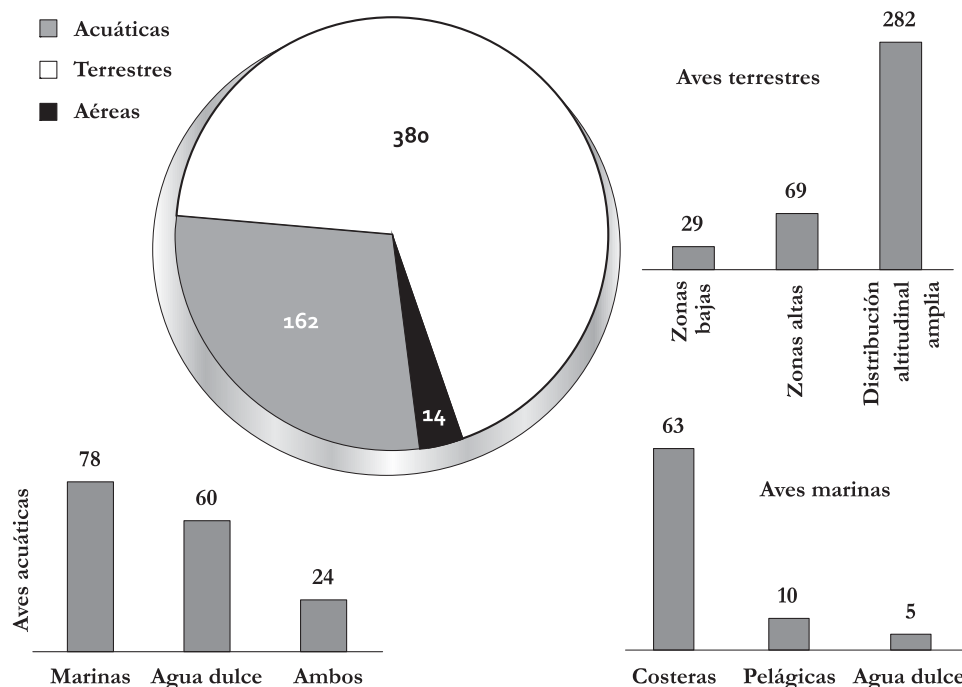


Figura 2. Cantidad de especies de aves en Sonora por categorías de hábitat

Otras especies que casi nunca se han vuelto a registrar son el atlapetes gorra rufa (*Atlapetes pileatus*) y el cacique mexicano (*Cacicus melanicterus*).

Por otro lado, existen registros recientes y evidencias de la presencia de especies que no se habían registrado después de 1950, tales como el águila solitaria (*Harpyhaliaetus solitarius*), la titira enmascarada (*Tytira semifasciata*), el halcón huaco (*Herpetotheres cachinnans*) y el carpintero pico plata (*Campophilus guatemalensis*), observados en varias ocasiones en el sur de Sonora por A. Flesch en 2006.

Registros de aves que ameritan comentarios

Presentamos aquí algunas notas sobre 45 especies de aves, ya sea porque son registros nuevos para Sonora o porque, desde nuestra perspectiva, merecen ser clarificadas. Además de observaciones publicadas, en las descripciones incluimos registros no publicados de distintos observadores que sustentan la presencia o modifican el conocimiento que tenemos de algunas especies en el estado. Los nombres de estos observadores se incluyen en paréntesis.

Ganso de Ross (*Chen rossii*). Este ganso no se encuentra listado en el libro de Russell y Monson (1998). La especie se ha identificado como un visitante de invierno frecuente, pero poco común en la Ciénega de Santa Clara, en el Delta del Río Colorado, en la porción noroeste del estado (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007). Probablemente no se había identificado antes debido a que se asocia con el ganso blanco (*Chen caerulescens*), especie similar que es abundante en la región.

Ganso cascador (*Branta hutchinsii*). Esta especie se separó recientemente del ganso canadiense (American Ornithologists' Union, 1998), por lo que su estatus en Sonora no es muy claro. Sin embargo, tres individuos de la subespecie *B. h. leucopareia*, anillados en las islas Aleutianas en Alaska, fueron cazados el 20 de diciembre de 1975 en el Delta del Río Colorado (Russell y Monson, 1998).

Pato silbón (*Anas penelope*). Russell y Monson (1998) consideran a este pato como hipotético para Sonora, con un solo registro para el estado en 1979 en Puerto Peñasco. Howell y Webb (1995) consi-

deran a la especie como rara para Sonora. Desde entonces, la especie ha sido observada en varias ocasiones en distintas localidades, incluyendo un macho adulto observado en Yavaros en enero de 2004 por Kimball Garrett y otro macho adulto reportado en el rancho San Bernardino al este de Agua Prieta en noviembre de 2002 (Steve Ganley). Con esta información confirmamos la presencia de la especie para Sonora.

Pato mexicano (*Anas platyrhynchos diazi*). Russell y Monson (1998) reportan que la subespecie es residente de las zonas altas de México, con una distribución en el estado del río Magdalena al este y al sur hasta Granados y tal vez Yécora. Desde 2006 la subespecie ha sido detectada como residente reproductiva (se han observado adultos y pollos) en los valles agrícolas del sur de Sonora, desde Huatabampo hasta Guaymas (Marco Antonio González Bernal).

Ojodorado islándico (*Bucephala islandica*). De acuerdo con los registros de los Conteos Navideños de Aves (National Audubon Society, 2008), esta especie fue registrada en Puerto Peñasco durante el conteo de diciembre de 1998 (coordinado por Steve Ganley). Posteriormente se observaron dos machos inmaduros de ojodorado islándico [junto con cuatro individuos de ojodorado común (*B. clangula*)] en Puerto Peñasco en enero de 2005 por Michael Carmody. El ojodorado islándico no está registrado en Russell y Monson (1998); Howell y Webb (1995) lo consideran hipotético para México. El registro en Puerto Peñasco fue aceptado por el comité revisor de registros del Conteo Navideño de Aves de National Audubon Society, por lo que consideramos que este pato debe ser incluido en la lista de especies de Sonora, aunque sea accidental en el estado.

Codorniz californiana (*Callipepla californica*). En el Museo Nacional de Historia Natural de Estados Unidos se encuentra un espécimen etiquetado como colectado en Sonora por W.W. Brown el 17 de mayo de 1905 (USNM 311736). Aunque no existen especímenes de otras especies colectadas en la misma fecha por él, se sabe que en fechas anteriores y posteriores estuvo trabajando en Guaymas,

La Chumata y Opodepe, pero no cerca del río Colorado, donde pudiera ser más probable encontrar a esta especie. Por lo tanto, éste puede ser un espécimen mal identificado, si es que fue colectado dentro del estado de Sonora. Consideramos que la especie no debe ser incluida en el listado de aves del estado.

Colimbo piquiamarillo (*Gavia adamsii*). Un cráneo de un espécimen encontrado muerto en la Isla del Tiburón fue colectado el 25 de febrero de 2000 y depositado en el Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias de la UNAM (MZFC 15727). Este espécimen representa evidencia de que ésta es una especie accidental para Sonora; es el registro más al sur para la especie en México y el único para el estado. Los tres registros previos de México provienen de las islas Los Coronados y la región norte del Golfo de California (Simon y Simon, 1974; Patten *et al.*, 2001; Rojas-Soto *et al.*, 2002). Este colimbo no fue incluido por Russell y Monson (1998) como especie de Sonora.

Albatros de Laysan (*Phoebastria immutabilis*). La especie no fue incluida en Russell y Monson (1998); sin embargo, esta ave es un visitante raro, pero frecuente, en la región del Alto Golfo de California y sobrevuela la región del valle de Mexicali y de San Luis Río Colorado en tránsito hacia el Salton Sea en California (Newcomer y Silber, 1989; Patten *et al.*, 2001).

Fulmar nortero (*Fulmarus glacialis*). Este fulmar está considerado como hipotético por Russell y Monson (1998), aunque reportan un registro de dos individuos en Puerto Peñasco en 1968 y un cráneo colectado en la Isla del Tiburón en 1963. Posteriormente, la especie fue observada en el sur de Sonora en junio de 1985 (Steve Ganley) y seis individuos, incluyendo aves de la variedad clara y la variedad oscura, fueron observados en el golfo de Santa Clara en mayo de 2006 por Kimball Garrett. Con esta información confirmamos la presencia de la especie en el estado como visitante casual.

Pardela patirrosada (*Puffinus creatopus*). Esta ave marina no fue incluida en Russell y Monson (1998), pero es un visitante de verano frecuente, aunque poco común en el Alto Golfo de California (Pat-

ten *et al.*, 2001), en la zona pelágica frente a Puerto Peñasco (Steve Ganley), en la región de las grandes islas del Golfo de California y frente a Bahía de Kino (Rick Taylor). Consideramos a la especie como visitante raro para el estado.

Paño de Leach (*Oceanodroma leucorhoa*). El rango de distribución normal de esta especie marina no incluye la región del Golfo de California y no fue incluido en Russell y Monson (1998); sin embargo, la especie se considera un visitante de verano raro para el norte del Golfo de California (Patten *et al.*, 2001), con un par de registros para la zona del golfo de Santa Clara en 1997 (Steve Ganley). Consideramos a la especie como visitante raro para Sonora.

Bobo enmascarado (*Sula dactylatra*). Existen dos especímenes de bobo enmascarado depositados en museos de Estados Unidos; el primero fue colectado por T.E. Taylor en la isla San Pedro Nolasco el 18 de julio de 1967 y se encuentra depositado en el Museo de Zoología de la Universidad de Michigan (UMMZ 212595) y el segundo fue colectado por C. Jones en la playa Tortilla en la bahía de San Carlos el 28 de marzo de 1973 y está catalogado en el Museo de Historia Natural de Denver (DMNH 36619). Es una especie pelágica accidental para el estado de Sonora, la cual no se incluyó previamente como parte de su avifauna.

Bobo pata-roja (*Sula sula*). Esta ave no fue incluida como parte de la avifauna de Sonora por Russell y Monson (1998), aunque está representada por tres especímenes; dos de ellos están etiquetados como colectados en Guaymas el 21 de septiembre de 1875 (no se especifica colector) y depositados en la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia (ANSP 33348 y 33349); el otro fue probablemente colectado en abril de 1875 (no hay fecha en la etiqueta) por T.H. Streets en la Isla del Tiburón y se encuentra depositado en el Museo Nacional de Historia Natural de Estados Unidos (USNM, sin número). A pesar de la falta de registros recientes, parece ser una especie accidental en Sonora. Para el estado de Sinaloa, cerca de la frontera con Sonora, existen registros recientes (Marco Antonio González-Bernal y Rick Taylor).

Milano tijereta (*Elanoides forficatus*). El único registro en el estado lo realizó Eduardo Gómez-Limón el 26 de mayo de 2005 en el kilómetro ochenta de la carretera a Palo Verde, al suroeste de Hermosillo. Este milano, inconfundible en el campo por la cola en forma de tijera y las marcas oscuras en las alas, volaba en dirección oeste y era atacado por dos halcones cola-roja (*Buteo jamaicensis*). El rango de distribución de esta especie normalmente incluye el sureste de Estados Unidos, la costa del Golfo de México, el Caribe, Centroamérica y gran parte de Sudamérica (Howell y Webb, 1995), pero comúnmente se le encuentra fuera de su rango de distribución, ocasionalmente hasta Arizona (Dunn y Alderfer, 2006).

Ralito negro (*Laterallus jamaicensis*). Esta especie tiene un estatus desconocido en México y no está incluida en el libro de las aves de Sonora de Russell y Monson (1998), pero se ha registrado recientemente en los humedales del Delta del Río Colorado como especie residente (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2001b y 2004). Howell y Webb (1995) señalaron que probablemente se reproduce a lo largo del río Colorado en Baja California y Sonora, pero que la pérdida de hábitat podría haber ocasionado su extirpación. Existen registros recientes para el noroeste de Baja California, particularmente para Bahía San Quintín (Erickson *et al.*, 1992; Eduardo Palacios y Marco Antonio González-Bernal). Esta especie podría estar recolonizando los humedales del delta del Colorado debido a su recuperación reciente como resultado de actividades de manejo adecuadas (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2004).

Chorlo dominico (*Pluvialis dominica*). Los chorlos dominico y fulvo no se encuentran registrados en Russell y Monson (1998). El primer registro de chorlo dominico en Sonora consistió en cuatro individuos observados por Eduardo Soto, Martín Julián Estrada y Martha M. Gómez el 26 de agosto de 2005 en la playa del golfo de Santa Clara, en el noroeste del estado, durante el programa de monitoreo de aves playeras de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California. Existen múltiples registros de chorlo dominico en la región, particularmente en el Salton Sea, California (doscientos

kilómetros al noroeste del golfo de Santa Clara), donde la especie se considera un visitante casual en primavera y otoño (Patten *et al.*, 2003) y en el Bajo Río Colorado en Arizona, con registros principalmente en otoño (Rosenberg *et al.*, 1991). El grupo de aves fue fotografiado y la identificación confirmada por Osvel Hinojosa-Huerta.

Chorlo fulvo (*Pluvialis fulva*). El chorlo fulvo fue registrado por primera vez en Sonora por Eduardo Soto, Martín Julián Estrada y Martha M. Gómez el 26 de agosto de 2005, junto con un grupo de chorlos dominicos, en la playa del golfo de Santa Clara. Esta especie es mucho más rara que el chorlo dominico en la región, pero existen por lo menos quince registros de chorlos fulvos para el Salton Sea (Patten *et al.*, 2003). El chorlo fue fotografiado y la identificación confirmada por Osvel Hinojosa-Huerta.

Jacana norteña (*Jacana spinosa*). La única evidencia sobre esta especie era un esqueleto depositado en el Museo del Condado de Los Ángeles etiquetado con el nombre «Sonora» y aparentemente obtenido en 1961. La especie fue considerada como hipotética para el estado de Sonora debido a la vaguedad de la localidad de colecta y la falta de registros adicionales. El mapa de distribución de Howell y Webb (1995) muestra que el límite norte está en el sur de Sinaloa. Fernando Villaseñor observó a doce individuos en la presa El Chiculi en el río Yaqui, cerca de Ciudad Obregón, el 23 de febrero de 2005 y David MacKay ha documentado la presencia continua de la especie en el río Mayo en Navojoa. También ha sido registrada recientemente en el estado de Sinaloa, cerca del límite con Sonora (Marco Antonio González-Bernal).

Playerito de Baird (*Callidris bairdii*). Esta especie es un playero migratorio ocasional en Sonora, considerado por Russell y Monson (1998) como hipotético. Incluimos a la especie como confirmada en Sonora, con tres observaciones: cuatro individuos detectados al este de Sonoita el 25 de agosto de 1967 (Groschupf *et al.*, 1988), ocho individuos observados al noreste de Cananea el 10 de octubre de 1987 (Russell y Monson, 1998) y dos individuos observados el 29 de agosto de 1998 en un estan-

que de ganado al norte de Cananea, en el valle de la cuenca alta del río San Pedro (Dave Krueper).

Playero zancudo (*Calidris himantopus*). Russell y Monson (1998) consideran a la especie como hipotética para Sonora. Un individuo fue observado en septiembre de 1973 en Bamuri, al sur de Pitiquito (Russell y Lamm, 1978). En la Ciénega de Santa Clara se han realizado varias observaciones de la especie, incluyendo un individuo en marzo 22 de 2003 (Miguel Ángel Guevara y Osvel Hinojosa-Huerta), tres individuos en octubre de 2008 (Eduardo Soto) y un individuo en diciembre 16 de 2008 (Guillermo Fernández). Patten *et al.* (2001) consideraron a la especie como migratoria poco común en la zona del Delta del Río Colorado. Consideramos que el playero zancudo es un visitante transitorio raro en el estado.

Gaviota japonesa (*Larus crassirostris*). Existe un solo registro en México para esta gaviota residente del este de Asia y accidental en Norteamérica. La gaviota fue observada con binoculares y telescopio y fotografiada por Kimball Garrett, Kathy Molina y Ted Nordhagen en la playa del golfo de Santa Clara, en el noroeste del estado, el 7 de junio de 1997 (Garrett y Molina, 1998). Las fotografías y la descripción de las notas de campo de Garrett y Molina (1998) dan certeza sobre la identificación de la especie.

Gaviota piquiamarilla (*Larus canus*). La especie no está registrada en Russell y Monson (1998). Los únicos dos registros en el estado se realizaron durante Conteos Navideños de Aves en Puerto Peñasco durante 1994 y 2005 por Steve Ganley (National Audubon Society, 2008).

Gaviota dorsinegra menor (*Larus fuscus*). La especie no está registrada en Russell y Monson (1998). Existen cuatro registros en Puerto Peñasco, todos por Steve Ganley durante Conteos Navideños de Aves en 1999, 2002 y 2006 (con dos registros en ese último año) (National Audubon Society, 2008).

Charrán embridado (*Onychoprion anaethetus*). Stephens (1885) observó a esta ave en Puerto Lobos en Bahía Tepoca el 20 de agosto de 1884. Sin embargo, no existen observaciones posteriores ni especímenes que documenten a esta especie para el

estado de Sonora. El límite norte de la distribución a lo largo de la costa del Pacífico de México para esta especie residente de verano se localiza en el estado de Nayarit (Howell y Webb, 1995), aunque no se descarta que pudiera adentrarse en el Golfo de California hacia Sonora. Consideramos a esta especie como hipotética para el estado de Sonora.

Salteador pomarino (*Stercorarius pomarinus*). Russell y Monson (1998) consideraron a la especie como hipotética para el estado y reportan dos observaciones: dos adultos observados en Bahía de Kino el 11 de abril de 1976 y dos individuos en Puerto Peñasco el 3 de enero de 1981. Se han realizado otras dos observaciones: dos individuos observados entre Puerto Peñasco y la isla San Jorge el 9 de noviembre de 1997 (Dave Krueper) y un individuo observado en la playa del golfo de Santa Clara en enero de 2007 (Eduardo Soto). Con estos nuevos registros, consideramos confirmada la presencia de la especie en Sonora como migratorio ocasional por la región.

Salteador parásito (*Stercorarius parasiticus*). Esta especie fue considerada como hipotética en Sonora por Russell y Monson (1998), para la cual reportan una observación en diciembre de 1974 y otra en enero de 1981, ambas en Puerto Peñasco. Posteriormente, la especie fue observada en recorridos pelágicos de Puerto Peñasco a la isla San Jorge: un individuo el 19 de enero de 1997 y otro el 9 de noviembre de 1997 (Dave Krueper). La especie también ha sido observada en dos ocasiones por David MacKay en la isla Huivulai en el sur de Sonora y se considera un visitante raro pero frecuente en el Alto Golfo de California (Patten *et al.*, 2001). Con esta información consideramos la confirmación de la especie para Sonora.

Salteador colilargo (*Stercorarius longicaudus*). Se considera un visitante frecuente en las costas del Pacífico mexicano y raro en el Golfo de California, con un registro reportado al sur de la Isla del Tiburón (Howell y Web, 1995) y otro en el Alto Golfo de California (Steve Ganley), pero sin detalles. Existen 17 registros para el Salton Sea en California (setenta kilómetros al noroeste de Sonora; Patten *et al.*, 2003) y dos registros en las lagunas

de la planta geotérmica de Cerro Prieto, en el valle de Mexicali, Baja California (25 kilómetros al oeste de la frontera con Sonora; Patten *et al.*, 2001), lo que sugiere que algunos individuos transitan la zona del Alto Golfo de California. Con esta información consideramos a la especie como hipotética para Sonora.

Salteador sureño (*Stercorarius maccormicki*). La especie se considera un visitante raro en el Golfo de California, incluyendo la zona pelágica frente a Sonora (Howell y Webb, 1995), aunque Russell y Monson (1998) no lo incluyeron en la lista para el estado. Dieciséis individuos de este salteador fueron observados entre julio y noviembre de 1985 en el canal de Ballenas en el Golfo de California (Tershy *et al.*, 1993) y se considera un visitante regular en el Alto Golfo de California, con un conteo máximo de 35 individuos (Patten *et al.*, 2003). Con esta información consideramos al salteador sureño como un visitante raro pero frecuente en las zonas del Golfo de California frente a Sonora.

Tórtola turca (*Streptopelia decaocto*). Eduardo Gómez-Limón observó a esta paloma introducida en el rancho San Sebastián, en el río San Miguel, el 15 de noviembre de 2005. Aaron D. Flesch también observó un par en la Ciénega de Quitovac en junio de 2006 y un individuo en el ejido Los Yaquis en julio de 2006. Richard Erickson, Osvel Hinojosa-Huerta y otros colaboradores han observado esta paloma en distintas localidades del Delta del Río Colorado de manera frecuente y cada vez en mayor abundancia a partir de diciembre de 2005. Dada esta evidencia, consideramos que esta especie está expandiendo su rango de distribución en Sonora y probablemente en México.

Por otra parte, Thomas R. Van Devender y Ana Lilia Reina observaron grupos grandes (de hasta veinte individuos) de la tórtola doméstica (*Streptopelia risoria*) en los pueblos de San Miguelito y Bavispe, a lo largo del río Bavispe, en julio de 2008. Aparentemente estas poblaciones de la tórtola doméstica, conocida localmente como paloma cardera, son descendientes de individuos que eran criados en la zona y que fueron liberados. Esta ave es una forma domesticada de la tórtola rosigrís africana (*S.*

roseogrisea) y no está reconocida como especie por la American Ornithologists' Union (1998), por lo que no se añadió al listado de especies de Sonora.

Perico frente naranja (*Aratinga canicularis*). El único registro bien documentado que existía para el estado era un espécimen colectado por W.J. Schalldach el 2 de enero de 1964 a quince kilómetros al suroeste de Puerto Loberas (Puerto Lobos), depositado en la colección de aves de la Universidad de Arizona (UAZ 8963). Recientemente (2 de febrero de 2004), Fernando Villaseñor observó a esta especie en Tetapeche, en el río Mayo, lo cual sugiere la posibilidad de que se encuentre más al norte de su límite conocido en Sinaloa. Sin embargo, también pudieran representar individuos que han escapado y que han podido sobrevivir y establecerse en el área.

Chupasavia pechirroja (*Sphyrapticus ruber*). Existen tres registros en Sonora, uno en el Cajón Bonito, en el noreste del estado, por Aaron Flesch en diciembre de 1999, y dos registros independientes en El Doctor, Delta del Río Colorado: un individuo observado por Kimball Garrett en mayo de 1998 y otro individuo capturado en una red de niebla el 13 de diciembre de 2003 por Helena Iturrubarría (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007). Un híbrido entre una chupasavia vientre amarillo y una chupasavia pechirroja se capturó en El Doctor el 7 de octubre de 2003 (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007).

Mosquero pálido (*Empidonax alnorum*). Consideramos a esta especie como accidental en el estado, ya que existe sólo un registro de un individuo en El Doctor, Delta del Río Colorado, el 14 de mayo de 2003 (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007). El individuo fue capturado en una red de niebla e identificado usando las medidas de morfología del pico y el ala, siguiendo las fórmulas de Pyle (1997), y después fue liberado.

Mosquero gorjiblanco (*Empidonax albigularis*). Este mosquero no está listado en Russell y Monson (1998). Existe un registro en Yécora durante el Conteo Navideño de Aves de 1997 (coordinado por Forrest Davis, National Audubon Society, 2008) y hay múltiples registros de esta especie en Sinaloa, a menos de 35 kilómetros de la frontera con Sonora

(Rick Taylor). Con esta información consideramos a la especie como hipotética para Sonora.

Vireo ojiblanco (*Vireo griseus*). Consideramos que la especie es transitoria accidental en Sonora. Russell y Monson incluyen a la especie como hipotética para el estado (1998). Existen tres registros: uno observado al este de Álamos del 11 al 14 de mayo de 1992 por K.B. Ostin (reportado en Russell y Monson, 1998), otro observado en La Barranca al oeste de Yécora el 19 y 20 de diciembre de 1998 (Jack Whetstone, Steve Russell y Dave Krueper) y otro observado por Kimball Garrett en los humedales de El Doctor en el Delta del Río Colorado en mayo de 1998 (reportado en Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007).

Vireo garganta amarilla (*Vireo flavifrons*). La especie es accidental en Sonora durante la migración de primavera. Existe un registro en El Doctor, Delta del Río Colorado, el 6 de mayo de 2008 (Ricardo Guzmán Olachea, Juan Butrón Méndez y José Juan Butrón Rodríguez, verificado por Osvel Hinojosa-Huerta). El individuo fue capturado en una red de niebla, identificado, fotografiado y después liberado.

Zorzalito piquipardo (*Catharus occidentalis*). Con un solo registro cerca de Mesa de Enmedio el 27 de noviembre de 1993, Russell y Monson (1998) consideraron a esta especie como hipotética en Sonora. Existe un registro posterior, el 19 y 20 de diciembre de 1998, en La Barranca al oeste de Yécora, de un individuo observado por Arnie Moorhouse, Doug Danforth, Jack Whetstone y Dave Krueper. Las notas de las observaciones y comparaciones en campo con especies similares eliminan cualquier posibilidad de confusión en la identificación. Con estos registros y la presencia de múltiples observadores, consideramos a la especie como un visitante de invierno accidental en Sonora.

Maullador gris (*Dumetella carolinensis*). Consideramos a la especie como un ave migratoria accidental en Sonora. Russell y Monson (1998) lo reportan como hipotético para el estado. Existen tres registros, uno observado en el río Cuchujaqui cerca de Álamos el 28 de noviembre de 1992 (Russell y Monson, 1998), otro observado en Villa Ver-

de en la cuenca alta del río San Pedro el 12 de marzo de 2004 (Juan Caicedo) y otro de un individuo capturado, anillado y fotografiado en El Doctor, en el Delta del Río Colorado, el 17 de mayo de 2004, y recapturado en el mismo sitio diez días después (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007).

Bisbita gorjirrufa (*Anthus cervinus*). Es un vagabundo accidental para el oeste de México, con registros en Baja California, Baja California Sur, Nayarit y Colima (Howell y Webb, 1995). El primer registró en Sonora fue de un macho en plumaje alterno brillante, observado y fotografiado por Michael Carmody en Puerto Peñasco el 15 y 16 de abril de 2005.

Chipe amarillo de manglar (*Dendroica petechia erithacoroides*). Esta forma de chipe amarillo vive y se reproduce exclusivamente en los manglares de la costa del Pacífico de México. Russell y Monson (1998), a partir de muchos individuos marcados cerca de Punta Chueca, concluyeron que era un visitante de verano que llegaba alrededor del 11 de abril y dejaba el área a finales de septiembre. Durante años de trabajo de campo sólo observaron un individuo en invierno. Otros registros de invierno de Bahía de Kino, San Carlos y Guaymas indican su presencia de noviembre a enero. Durante nuestro trabajo de campo hemos registrado a esta forma en cada visita que hemos hecho a esteros con manglares: del 6 al 8 de febrero de 2004 detectamos más de 15 individuos en los esteros Santa Cruz, Paraíso y Santa Rosa, cerca de Bahía de Kino y Punta Chueca. El siguiente año, detectamos cinco individuos en el manglar del estero El Soldado, en San Carlos, el 22 de febrero. Estos registros indican que probablemente esta subespecie es residente permanente más que residente de verano.

Chipe pradeño (*Dendropica discolor*). Solamente existe un registro para el estado, que corresponde a un individuo capturado en El Doctor, Delta del Río Colorado, en octubre de 1999 (Van Riper *et al.*, 1999). En Baja California esta especie ha sido observada en quince ocasiones (Erickson *et al.*, 2001) y, con excepción de la península de Yucatán, existen muy pocos registros en el resto de México (Howell y Webb, 1995).

Chipe gorrinegro (*Dendroica striata*). Un individuo de esta especie fue observado y fotografiado por Steve Ganley, Jay Withgott y Jay Taylor en Puerto Peñasco el 3 de octubre de 1999. Éste es el único registro para la especie en Sonora. Existen por lo menos 25 registros para la especie en la península de Baja California (Erickson *et al.*, 2001), donde se le considera un vagabundo raro de otoño.

Chipe de Canadá (*Wilsonia canadensis*). La especie es accidental en Sonora durante la migración de primavera. El primer registro en el estado se realizó en El Doctor, Delta del Río Colorado, el 27 de mayo de 2004 (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007). El individuo fue capturado en una red de niebla, identificado, fotografiado y después liberado.

Saltón gorrirufu (*Atlapetes pileatus*). Russell y Monson (1998) reportaron solamente un registro de la especie (en la carretera Hermosillo-Yécora el 27 de noviembre de 1993) y consideraron a la especie como hipotética. Consideramos a la especie como un visitante de invierno accidental en Sonora, con un registro de un individuo el 20 de diciembre de 1998 en La Barranca al oeste de Yécora, observado por Arnie Moorhouse, Doug Danforth, Jack Whetstone y Dave Krueper.

Saltador grisáceo (*Saltator coerulescens*). Esta especie ha colonizado el sur de Sonora en los últimos años, particularmente la zona de Álamos, donde es un residente raro (Rick Wright, Steve Ganley y David MacKay). Russell y Monson (1998) no lo reportan para Sonora y Howell y Webb (1995) marcan su límite norte en el centro de Sinaloa.

Tordo canadiense (*Euphagus carolinus*). Un individuo de esta especie fue observado con detalle por D. Stejskal y S. Ganley el 16 de diciembre de 1989 en Puerto Peñasco y T. Wurster lo observó el 12 de enero de 1990 en la misma localidad (Russell y Monson, 1998). Will Russell y Rich Hoyer observaron un individuo también en Puerto Peñasco el 19 de diciembre del 2008. La especie fue considerada como hipotética para Sonora por Russell y Monson (1998), pero con el nuevo registro consideramos que la especie está confirmada para Sonora como accidental.

Adicionalmente a estas anotaciones, existen ob-

servaciones para otras cuatro especies que pudieran representar los primeros registros de estas aves en el estado, pero para las cuales no existe suficiente información que sustente la identificación con certeza, por lo cual no fueron incluidas en el listado de aves de Sonora. Estas observaciones son: un semillero collarejo (*Sporophila torqueola*) en diciembre de 1998 durante el Conteo Navideño de Aves en San Carlos (Terry Brownell); una gaviota de Kamchatka (*Larus schistisagus*) en Puerto Peñasco el 9 de mayo de 1997 (Steve N.G. Howell; representaría el primer registro para México); un bobo de Nazca (*Sula granti*) observado en una expedición pelágica en el Alto Golfo de California en septiembre de 1997 (Steve Ganley) y varias observaciones de milano de Misisipi (*Ictinia mississippiensis*) en Arizona muy cerca de la frontera con Sonora (Dave Krueper). Esta especie anida cerca de Saint David en el río San Pedro en Arizona y es muy probable que migren usando el corredor del San Pedro en Sonora, pero no se han confirmado observaciones de la especie en el estado.

Aves de las islas de Sonora

Van Rossem (1945) incluyó a las islas en su estudio sobre la distribución de las aves de Sonora, pero Russell y Monson (1998) las excluyeron. En este capítulo actualizamos el listado de 237 especies de aves que habitan catorce islas e islotes rocosos del Golfo de California que pertenecen a Sonora (apéndice II en disco compacto). Estas islas constituyen un área importante para la reproducción de aves marinas y también sustentan subespecies únicas. Las dos islas más importantes, Lobos y del Tiburón, debido a su tamaño y proximidad con tierra firme, son las que mayor riqueza de especies tienen (121 y 140, respectivamente); las otras doce islas, al ser más pequeñas y estar más alejadas de tierra firme, con un total de 97 especies, poseen menor riqueza.

La importancia de estas islas yace en el hecho de que incluyen los sitios de reproducción de cerca de noventa especies acuáticas; son habitadas por poblaciones considerables de petreles, bobos, pelícanos y charranes y, específicamente, más de noventa por ciento de las poblaciones de gaviota plo-

ma (*Larus heermanni*), gaviota patamarilla (*Larus livens*), charrán elegante (*Sterna elegans*) y mérgulo de Craveri (*Synthliboramphus craveri*) dependen de éstas para reproducirse (Howell y Webb, 1995). Debido a su importancia biológica como áreas de reproducción de mamíferos y aves marinas y en términos del alto nivel de endemismos de reptiles, mamíferos y aves (Case *et al.*, 2002), la Reserva de la Biosfera Isla San Pedro Mártir y el Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California fueron inscritas como Patrimonio de la Humanidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura en 2005 (UNESCO, 2009).

DISCUSIÓN

La ubicación del estado de Sonora al norte del trópico de Cáncer, donde las corrientes de aire seco de la atmósfera descienden y provocan condiciones de aridez, actúa como el límite norte de los bosques tropicales. Los bosques tropicales caducifolios alcanzan su límite septentrional en la región sur y sureste del estado y de forma concurrente representan el límite norte de 96 especies de aves de Sonora. Por otra parte, el desierto, el pastizal y el matorral del norte y noreste de Sonora actúan como el límite meridional de 26 especies de la avifauna de clima templado de Norteamérica. Esta región se considera como un área importante donde pasan el invierno las especies que se reproducen en las praderas del centro de Estados Unidos y el sur de Canadá, así como en los bosques de coníferas, de encinos y matorrales semidesérticos de la región montañosa del oeste de Estados Unidos y Canadá (Rich *et al.*, 2004). Como resultado de los efectos aditivos de las regiones Neártica y Neotropical, la avifauna de Sonora es la cuarta más rica en especies de México, sólo después de Oaxaca (725), Veracruz (708) y Chiapas (655) (Navarro-Sigüenza y Sánchez-González, 2003).

La información compilada en este capítulo indica que la avifauna conocida de Sonora incluye 556 especies, 31 más que el número reportado en

la obra más reciente sobre las aves de Sonora (Russell y Monson, 1998). La diferencia se debe a la adición de datos nuevos, así como de registros desconocidos o no considerados de especímenes de colecciones. Estamos de acuerdo con el criterio cauteloso que Russell y Monson usaron para la incorporación de especies hipotéticas cuando no existen especímenes de respaldo y consideramos que en la mayoría de los casos los especímenes o fotografías son un requisito apropiado, objetivo y necesario. Sin embargo, cuestionamos la validez de la localidad de ciertos especímenes de museo.

Cuando hay evidencia de que las poblaciones de especies restringidas o muy sensibles se reducen significativamente o sus hábitats están amenazados, éstas requieren atención especial. Existen tres instrumentos oficiales a nivel nacional e internacional que han identificado especies que requieren atención y protección: la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN, 2006) a escala global, el Acta para la Conservación de Aves Migratorias Neotropicales (NMBCA, 2000) en Estados Unidos y la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (DOF, 2002).

Bajo los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, la lista roja de especies amenazadas incluye a 99 especies de México globalmente amenazadas. De estas, 28 se encuentran en Sonora: una en peligro crítico de extinción (el carpintero imperial extinto), una en peligro de extinción (la cotorra serrana occidental, *Rynchopsitta pachyrhyncha*), ocho en estatus vulnerable y 18 amenazadas (apéndice I en disco compacto). El Acta de Conservación de las Aves Migratorias Neotropicales pretende preservar poblaciones saludables de aves migratorias neotropicales apoyando iniciativas de conservación en Estados Unidos y Latinoamérica. De un total de 338 especies de interés en el Acta, 86% (290) han sido registradas en Sonora, al menos durante los meses de invierno. Este porcentaje tan alto indica claramente el gran valor que tiene esta región de México para la conservación de estas aves, particularmente para las especies que migran cortas distancias.

En México, la Norma Oficial Mexicana define a las especies extintas, en peligro de extinción, amenazadas y bajo protección especial de la flora y fauna del país con base en una adaptación de los criterios empleados por la IUCN. De un total de 274 especies de aves incluidas en la lista, 24% (66) de ellas se encuentran en Sonora: una como extinta (el carpintero imperial), 10 en peligro de extinción, 19 amenazadas y 36 bajo protección especial (tabla 4 y, en disco compacto, apéndice 1).

Cuando se toma en cuenta la distribución geográfica, queda claro que algunas especies son «endémicas» o circunscritas a un rango de distribución pequeño. La responsabilidad sobre la conservación de estas especies recae en la región o país donde se encuentran. La conservación de estas especies endémicas es de extrema importancia y su sobrevivencia bajo condiciones naturales sólo puede ser garantizada a través de la protección y el manejo activo, que también beneficia a otras especies. México posee 91 especies que viven exclusivamente dentro de su territorio y 26 de ellas se distribuyen en partes del estado de Sonora; sin embargo, no existe especie de ave que sea endémica del estado de Sonora. Las especies consideradas como cuasiendémicas son aquellas que extienden su rango de distribución hacia países vecinos debido a la continuidad de los hábitats o a rasgos fisiográficos pero que la mayor parte de su distribución reside en un país; cuarenta y tres especies de México son cuasiendémicas, de las cuales trece se encuentran en Sonora y se comparten con Estados Unidos.

El concepto de endemismo se aplica generalmente a especies residentes y de alguna forma implica que poseen una distribución fija y determinada. Sin embargo, algunas especies migratorias pueden restringirse a áreas pequeñas durante el período reproductivo o durante la fase invernal y en estos casos se requiere de la implementación de acciones de conservación en esas áreas para asegurar su mantenimiento en el futuro. Se ha propuesto el término de semiendémicas para estas especies que son endémicas a una región o país durante una parte del año (Gómez de Silva, 1996). Estas especies deberían de llamarse «endémicas estacionales»

debido a que son realmente endémicas durante una estación y merecen la misma atención y esfuerzo de conservación que logran las verdaderas endémicas. Cuarenta y ocho especies son semiendémicas a México y 38 se encuentran en algunos hábitats del estado de Sonora (tabla 4 y, en disco compacto, apéndice 1).

Desde el punto de vista administrativo, las especies endémicas se definen por fronteras políticas y, para el estado de Sonora, ubicado en el límite norte de México, estas especies no son necesariamente las que requerirían de mayores esfuerzos de conservación. Las especies biológicas no reconocen estos límites políticos y, por esta razón, las especies cuasiendémicas y semiendémicas tienen que ser consideradas como prioritarias en las acciones de conservación internacional, así como a escala regional en el suroeste de Estados Unidos y en el noroeste de México.

La diversidad de ambientes a lo largo del gradiente altitudinal y la rápida transición latitudinal de la vegetación de Sonora, así como los procesos de aislamiento por largos períodos dentro del sistema de Islas del Golfo de California han traído como resultado la rica fauna que encontramos en la actualidad. Aunque poseemos muy buena información y tenemos una muy buena idea sobre el estatus de la avifauna de Sonora, existe la necesidad de describir con mayor detalle los patrones geográficos y la distribución temporal a nivel de subespecies, así como los patrones de uso de hábitat de las aves durante el año. Esta información nos permitiría definir cuáles son los hábitats más importantes de conservar, así como las necesidades de especies particulares. Es también muy importante incrementar los esfuerzos y dar continuidad a los estudios y actividades de monitoreo con el objeto de describir algunos parámetros demográficos básicos que permitan conocer el estatus poblacional de especies que requieren atención prioritaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de Francisco Molina en la

traducción y edición del manuscrito, así como los valiosos comentarios de Eric Mellink y Eduardo Palacios. La actualización del listado de aves fue posible gracias a la contribución de registros de los siguientes observadores: T. Brownell, J. Butrón Méndez, J.J. Butrón Rodríguez, M. Carmody, D. Danforth, M.J. Estrada, G. Fernández, S. Ganley, K. Garrett, M.A. González-Bernal, M. Gómez, R. Guzmán Olachea, S.N.G. Howell, R. Hoyer, H. Iturribarría, D. MacKay, A. Moorhouse, A.L. Reina, S. Russell, W. Russell, E. Soto, J. Taylor, R. Taylor, T. R. Van Devender, J. Whetstone, J. Withgott, y R. Wright. El trabajo de los autores fue posible gracias al apoyo del Sonoran Joint Venture, la Universidad de Arizona, la Universidad de Montana (Missoula), el U.S. Fish and Wildlife Service, la National Fish and Wildlife Foundation, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y del apoyo Promep al primer autor a través de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Agradecemos especialmente a R.G. Dávila-Vindiola, J.J. Rivera-Díaz, Leonardo Villaseñor-Gómez, F. Méndez, P.J. Micheal, D. Ávila-Jiménez, S.A. Leyva-Briseño y R. León-Carrasco, por su invaluable apoyo en el intenso trabajo de campo. El proyecto Atlas de Aves de México fue apoyado por Conabio, Conacyt, Semarnat-Conacyt (C01-0265), DGAPA-UNAM (IN 233002 y 208906), el Consejo Británico en México y la Fundación Nacional de Ciencias (NSF). A través de este proyecto se obtuvo información de los museos e instituciones mencionados en el texto. Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todo el personal y curadores de estas instituciones.

LITERATURA CITADA

- ABBOTT, C.G. 1941. Observations at Guaymas, Sonora, Mexico. *The Auk* 58: 416-418.
- ALDEN P. 1969. Finding the Birds in Western Mexico. *A Guide to the States of Sonora, Sinaloa, and Nayarit*. The University of Arizona Press, Tucson.
- ALDEN, S., y S. MILLS. 1974. The Spring Migration. Southwest Region. *American Birds* 28: 836-838.
- ALLEN, J.A. 1893. List of Mammals and Birds Collected in Northeastern Sonora and Northwestern Chihuahua, Mexico, on the Lumholtz Archeological Expedition; 1880-92. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 5: 27-42.
- AMERICAN ORNITHOLOGISTS' UNION. 1998. Checklist of North American Birds, 7a ed. American Ornithologists' Union, Washington, D.C.
- AMERICAN ORNITHOLOGISTS' UNION. 2009. List of the 2 048 Bird Species Known from the AOU. Checklist area (<http://www.aou.org/checklist/north/full.php>).
- AUSTRALIAN MUSEUM. 2005. *Biodiversity. Life Supporting Life* (<http://www.austmus.gov.au/biodiversity>).
- AZGFD. 2006. *Arizona Game and Fish. Managing Today for Wildlife Tomorrow*. Pheasant (http://www.gf.state.az.us/h_f/game_pheasant.shtml).
- BANCROFT, G. 1927. Notes on the Breeding Coastal and Insular Birds of Central Lower California. *Condor* 29: 188-195.
- BANGS, O. y J.L. PETERS. 1928. A Collection of Birds from Oaxaca. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 68: 385-404.
- BANGS, O. y T.E. PENARD. 1921. Description of Six New Subspecies of American Birds. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 34: 89-92.
- BANKS, R.C. 1963. Birds of the Belvedere Expedition to the Gulf of California. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 13: 49-60.
- BANKS, R.C. 1965. An Unusual Habitat for Purple Martins. *The Auk* 82: 271-273.
- BANKS, R.C. 1969. Relationships of the Avifauna of San Esteban Island Sonora Mexico. *Condor* 71: 88-93.
- BATES, J.M. 1992a. Winter Territorial Behavior of Gray Vireos. *Wilson Bulletin* 104: 48-67.
- BATES, J.M. 1992b. Frugivory on *Bursera microphylla* (Burseraceae) by Wintering Gray Vireos (*Vireo vicinior*, Vireonidae) in the Coastal Deserts of Sonora, Mexico. *Southwestern Naturalist* 37: 252-258.
- BELDING, L. 1883. List of Birds Found at Guaymas, Sonora, in December, 1882, and April, 1883. *Proceedings of the United States National Museum* 6: 343-344.
- BOJÓRQUEZ-TAPIA, L.A., P. BALVANERA, y A.D. CUARÓN. 1994. Biological Inventories and Computer Data Bases: Their Role in Environmental Assessments. *Environmental Management* 18: 775-785.
- BOOTH, E.S. 1953. American Golden-Eye in Sonora, Mexico. *Condor* 55: 160.
- BREWSTER, W. 1885. Additional Notes on Some Birds

- Collected in Arizona and the Adjoining Province of Sonora, Mexico by Mr. F. Stephens in 1884; With a Description of a New Species of *Ortyx*. *The Auk* 2: 196-200.
- BREWSTER, W. 1888a. Descriptions of Supposed New Birds from Lower California, Sonora and Chihuahua, Mexico, and the Bahamas. *The Auk* 5: 82-95.
- BREWSTER, W. 1888b. On Three Apparently New Subspecies of Mexican Birds. *The Auk* 5: 136-139.
- BREWSTER, W. 1889. Descriptions of Supposed New Birds from Western North America and Mexico. *The Auk* 6: 85-98.
- BREWSTER, W. 1893. Description of a New Hummingbird from Northern Mexico. *The Auk* 10: 214.
- BROWN, B.T. 1988. Additional Bald Eagle Nesting Records from Sonora, Mexico. *Journal of Raptor Research* 22: 30-32.
- BROWN, B.T. y P.L. WARREN. 1985. Wintering Bald Eagles along the Rio Yaqui, Sonora, Mexico. *Wilson Bulletin* 97: 224-226.
- BROWN, D.E. 1989. *Arizona Game Birds*. University of Arizona Press, Tucson.
- BROWN, B.T., P. WARREN y S. ANDERSON. 1987. First Bald Eagle Nesting Record from Sonora, Mexico. *Wilson Bulletin* 99: 279-280.
- CARTON, J.-L.E. 2000. Status and Productivity of Ospreys along the Eastern Coast of the Gulf of California: 1992-1997. *Journal of Field Ornithology* 71: 298-309.
- CAS. 2006. *Ornithology Collection Database*. California Academy of Science (<http://www.calacademy.org/research/bmammals/BirdColl/Index.asp>).
- CASE T.J., M.L. CODY y E. EZCURRA. 2002. *New Island Biogeography of the Sea Cortez*. Oxford University Press.
- CLARK, J.H. 1898. Notes of the Nesting of Palmer's Thrasher at El Plomo, Sonora, Mexico. *The Auk* 15: 272-274.
- CLARK, T.O. 1984. Notable Records of Birds from Eastern Sonora, Mexico. *Western Birds* 15: 134-136.
- CONABIO. 2000. Estrategia Nacional sobre la Biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- DEWESE, L.R., y D.W. ANDERSON. 1976. Distribution and Breeding Biology of Craveri's Murrelet. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 18: 155-168.
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-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*. Segunda Sección. México, 6 de marzo.
- DICKEY, D.R. 1930. A New Clapper Rail from Sonora. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 235-236.
- DREWIEN, R.C., W.M. BROWN y D. BENNING. 1996. Distribution and Abundance of Sandhill Cranes in Mexico. *Journal of Wildlife Management* 60: 270-285.
- DREWIEN, R.C. y D.S. BENNING. 1997. Status of Tundra Swans and Trumpeter Swans in Mexico. *Wilson Bulletin* 109: 693-701.
- DUBERSTEIN, J.N., V. JIMÉNEZ-SERRANÍA, T.A. PFISTER, K.E. LINDQUIST y L. MELTZER. 2005. Breeding Double-Crested Cormorants and Wading Birds on Isla Alcatraz, Sonora, Mexico. En: C.J. Ralph, y T.D. Rich, eds. *Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference*. General Technical Report PSW-GTR-191. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Asilomar, California, pp. 166-168.
- DUNN, J.L. y J. ALDERFER. 2006. National Geographic Fieldguide to the Birds of North America, 5a. ed. National Geographic Society, Washington, D.C.
- DUNNING, J.B. JR. 1988. Yellow-Footed Gull Kills Eared Grebe. *Colonial Waterbirds* 11: 117-118.
- DWIGHT, J.J. 1890. The Horned Larks of North America. *The Auk* 7: 138-158.
- ERICKSON, R.A., A.D. BARRÓN y R.A. HAMILTON. 1992. A Recent Black Rail Record for Baja California. *The Euphonia* 1: 21.
- ERICKSON, R.A., R.A. HAMILTON y S.N.G. HOWELL. 2001. New Information on Migrant Birds in Northern and Central Portions of the Baja California Peninsula, Including Species New to Mexico. *Monographs in Field Ornithology* 3: 112-170.
- ESCALANTE-PLIEGO, P., A.M. SADA y J. ROBLES-GIL. 1996. *Listado de los nombres comunes de las aves de México*. Agrupación Sierra Madre, México.
- FLESCHE, A.D. 2003. Distribution, Abundance, and Habitat of Cactus Ferruginous Pygmy-Owls in Sonora, Mexico. University of Arizona, Tucson.
- FLESCHE, A.D. 2008. Distribution and Status of Breeding Landbirds in Northern Sonora, Mexico. *Studies in Avian Biology* 37: 28-45.
- FLESCHE, A.D. y L.A. HAHN. 2005. Distribution of Birds and Plants at the Western and Southern Edges of the Madrean Sky Islands in Sonora, Mexico. En:

- G.J. Gottfried, B.S. Gebow, L.G. Eskew y C.B. Edminster, eds. *Connecting Mountain Islands and Desert Seas: Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago II*. Proceedings RMRS-P-36. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp 80-87.
- FLESCH, A.D. y R.J. STEIDL. 2006. Population Trends and Implications for Monitoring Cactus Ferruginous Pygmy-Owls in Northern Mexico. *Journal of Wildlife Management* 70: 867-871.
- FLORES-VILLELA, O. y A.G. NAVARRO-SIGÜENZA. 1993. Un análisis de los vertebrados terrestres endémicos de Mesoamérica en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, vol. esp. 46: 387-395.
- FMNH. 2006. Field Museum of Natural History. Online Database of The Field Museum's Collection of Birds (<http://fm1.fieldmuseum.org/collections/search.cgi?dest=birds>).
- FRIEDMANN, H., L. GRISCOM y R.T. MOORE. 1950. Distributional Checklist of the Birds of Mexico. Part 1. *Pacific Coast Avifauna* 29: 1-202.
- GALLUCCI, T. 1981. Summer Bird Records from Sonora, Mexico. *American Birds* 353: 243-247.
- GARCÍA E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. 2a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- GARRETT, K.L. y K.C. MOLINA. 1998. First Record for the Black-Tailed Gull for Mexico. *Western Birds* 29: 59-54.
- GÓMEZ DE SILVA, H. 1996. The Conservation Importance of Semiendemic Species. *Conservation Biology* 10: 674-675.
- GOSS, N.S. 1888. New and Rare Birds Found Breeding on the San Pedro Martir Isle. *The Auk* 5: 240-244.
- GRAVES, G.R. 2003. Diagnoses of Hybrid Hummingbirds (Aves: Trochilidae) 10. *Cyanomyia salvini* Brewster, 1893, is an Intergeneric Hybrid of *Amazilia violiceps* and *Cyananthus latirostris*. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 116: 293-300.
- GRISCOM, L. 1929. Notes on the Rough-Winged Swallow [*Stelgidopteryx serripennis* (Aud.)] and Its Allies. *Proceedings of the New England Zoological Club* 11: 67-72.
- GRISCOM, L. 1934. The Ornithology of Guerrero, Mexico. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 75: 367-422.
- GROSCHUPE, K., B.T. BROWN y R.R. JOHNSON. 1988. *An Annotated Checklist of the Birds of Organ Pipe Cactus National Monument, Arizona*. Southwest Parks and Monuments Association. Tucson.
- HARRISON, E.N. y L.F. KIFF. 1977. The Nest and Egg of the Black Solitary Eagle. *Condor* 79: 132-133.
- HINOJOSA-HUERTA, O., H. ITURRIBARRÍA-ROJAS, E. ZAMORA-HERNÁNDEZ y A. CALVO-FONSECA. 2008a. Densities, Species Richness, and Habitat Relationships of the Avian Community in the Colorado River, Mexico. *Studies in Avian Biology* 37: 74-82.
- HINOJOSA-HUERTA O., J. GARCÍA-HERNÁNDEZ, Y. CARRILLO-GUERRERO y E. ZAMORA-HERNÁNDEZ. 2007. Hovering over the Alto Golfo: The Status and Conservation of Birds from the Rio Colorado to the Gran Desierto. En: R.S. Felger y B. Broyles, eds. *Dry Borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*. University of Utah Press, Salt Lake City, pp 383-407.
- HINOJOSA-HUERTA, O., J.J. RIVERA-DIAZ, H. ITURRIBARRÍA-ROJAS y A. CALVO-FONSECA. 2008b. Population Trends of Yuma Clapper Rails in the Colorado River Delta, Mexico. *Studies in Avian Biology* 37: 69-73.
- HINOJOSA-HUERTA, O., S. DE STEFANO, Y. CARRILLO-GUERRERO, W.W. SHAW y C. VALDÉS-CASILLAS. 2004. Waterbird Communities and Associated Wetlands of the Colorado River Delta, México. *Studies in Avian Biology* 27: 52-60.
- HINOJOSA-HUERTA, O., S. DE STEFANO y W. SHAW. 2001a. Abundance and Distribution of the Yuma Clapper Rail (*Rallus longirostris yumanensis*) in the Colorado River Delta, Mexico. *Journal of Arid Environments* 49: 171-182.
- HINOJOSA-HUERTA, O., W. SHAW y S. DE STEFANO. 2001b. Detections of California Black Rails in the Colorado River Delta, Mexico. *Western Birds* 32: 228-232.
- HOWELL, S.N.G. 1993. Status of the Piping Plover in Mexico. *The Euphonia* 2: 51-54.
- HOWELL, S.N.G. y M.B. ROBBINS. 1995. Species Limits of the Least Pygmy-Owl (*Glaucidium minutissimum*) Complex. *Wilson Bulletin* 107: 7-25.
- HOWELL S.N.G. y S. WEBB. 1995. *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press, Nueva York.
- HUEY, L.M. 1935. February Bird Life of Punta Penasosa, Sonora, Mexico. *The Auk* 52: 249-256.
- HUTTO, R.L. 1998. Using Landbirds as an Indicator Species Group. En: J.M. Marzluff y R. Sallabanks, eds. *Avian Conservation: Research and Management*. Island Press, Covelo, California, pp. 75-92.

- INEGI. 2000. *Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora*. 2a. ed. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, México.
- IUCN. 2006. *IUCN Red List of Threatened Species* (<http://www.iucnredlist.org>).
- JOUY, P.L. 1894. Notes on Birds of Central Mexico, with Descriptions of Forms Believed to Be New. *Proceedings of the United States National Museum* 17: 771-791.
- KAUFMAN, K. y J. WITZEMAN. 1979. A Harlequin Duck Reaches Sonora, Mexico. *Continental Birdlife* 16-17.
- KELLY, J.F. y R.L. HUTTO. 2005. An East-West Comparison of Migration in North American Wood Warblers. *Condor* 107: 197-211.
- KENYON, K.W. 1942. Hunting Strategy of Pigeon Hawks. *The Auk* 59: 443-444.
- LAFRESNAYE, F.D. 1835. Sur le Genre Grimpic (*Picolaptes*, Lesson) *Mag. de Zool. 5me. ann.*: 57-62.
- LAMMERTINK, M., J.A. ROJAS-TOMÉ, F.M. CASILLAS-ORONA y R.L. OTTO. 1996. Status and Conservation of Old-Growth Forests and Endemic Birds in the Pine-Oak Zone of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Verslagen en Technische Gegevens Instituut voor Systematiek en Populatiebiologie (Zoologisch Museum)* 69: 1-89.
- LANDRES, P.B., y J.A. MACMAHON. 1980. Guilds and Community Organization: Analysis of an Oak Woodland Avifauna in Sonora, Mexico. *The Auk* 97: 351-365.
- LANDRES, P.B. y J.A. MACMAHON. 1983. Community Organization of Arboreal Birds in Some Oak Woodlands of Western North America. *Ecological Monographs* 53: 183-208.
- LAWRENCE, G.N. 1874. The Birds of Western and Northwestern Mexico, Based upon Collections Made by Col. A.J. Grayson, Capt. J. Xantus and Ferd. Bischoff, Now in the Museum of the Smithsonian Institution, at Washington. *Memoirs of the Boston Society of Natural History* 2: 265-319.
- LINDSAY, G.E. 1962. The Belvedere Expedition to the Gulf of California. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 13: 3-44.
- MARSHALL, J. T. JR. 1957. Birds of Pine-Oak Woodland in Southern Arizona and adjacent Mexico. *Pacific Coast Avifauna* 32: 1-125.
- MAY, L.A. 1976. Fauna de vertebrados de la región del Gran Desierto de Sonora, México. Universidad Nacional Autónoma de México, *Anales del Instituto de Biología*, serie Zoología, 47: 143-182.
- MCZHU. 2006. Museum of Comparative Zoology. Harvard University. On-Line Bird Collection Database (<http://www.mcz.harvard.edu/Departments/Ornithology/BirdSearch.cfm>).
- MELLINK, E., E. PALACIOS y S. GONZÁLEZ. 1996. Notes on Nesting Birds of the Ciénega de Santa Clara Saltflat, Northwestern Sonora, México. *Western Birds* 27: 202-203.
- MELLINK, E., E. PALACIOS y S. GONZÁLEZ. 1997. Non-Breeding Waterbirds of the Delta of the Rio Colorado, México. *Journal of Field Ornithology* 68: 113-123.
- MELLINK, E. y E. PALACIOS. 1993. Notes on the Breeding Coastal Waterbirds in Northwestern Sonora. *Western Birds* 24: 29-37.
- MILLER, A.H., H. FRIEDMANN, L. GRISCOM y R.T. MOORE. 1957. Distributional Checklist of the Birds of Mexico. Part 2. *Pacific Coast Avifauna* 33: 1-436.
- MITTMEIER, R.A. 1988. Primate Diversity and the Tropical Forest: Case Studies from Brazil and Madagascar and the Importance of Megadiversity Countries. En: E.O. Wilson, ed. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 145-154.
- MONSON, G. 1986. Gray-Collared Becard in Sonora. *American Birds* 40: 562-563.
- MOORE, R.T. 1932a. A New Motmot from Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 45: 109-111.
- MOORE, R.T. 1932b. A New Race of *Aimophila carpalis* from Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 45: 231-234.
- MOORE, R.T. 1934a. A New Race of *Lepidocolaptes leucogaster* from Sonora, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 47: 87-90.
- MOORE, R.T. 1934b. A Review of the Races of *Geococcyx velox*. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 7: 455-470.
- MOORE, R.T. 1935. New Birds from Northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 48: 111-114.
- MOORE, R.T. 1937a. A New Race of Finsch's Parrot. *The Auk* 54: 528-529.
- MOORE, R.T. 1937b. New Races of *Myadestes*, *Spizella*, and *Turdus* from Northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 201-206.
- MOORE, R.T. 1938. Unusual Birds and Extensions of Ranges in Sonora, Sinaloa and Chihuahua, Mexico. *Condor* 40: 23-28.
- MORLAN, J. 1981. Status and Identification of Forms

- of White Wagtail in Western North America. *Continental Birdlife* 2: 37-50.
- MVZ-BERKELEY. 2006. Museum of Vertebrate Zoology Data Access (<http://bscit.berkeley.edu/mvz/>).
- NATIONAL AUDUBON SOCIETY. 2008. The Christmas Bird Count Historical Results (<http://www.audubon.org/bird/cbc>).
- NAVARRO-SIGÜENZA, A.G., A. PETERSON y A. GORDILLO-MARTÍNEZ. 2003. Museums Working Together: The Atlas of the Birds of Mexico. En: N. Collar, C. Fisher y C. Feare, eds. *Why Museums Matter: Avian Archives in an Age of Extinction*. Bulletin of the British Ornithologists' Club. Supplement 123A, pp. 207-225.
- NAVARRO-SIGÜENZA, A.G. y L.A. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ. 2003. La diversidad de las aves. En: H. Gómez de Silva y A. Oliveras de Ita, eds. *Conservación de aves: experiencias en México*. Cipamex, Conabio, NFWF, México, pp. 24-85.
- NEFF, J.A. 1947. Notes on Some Birds of Sonora, Mexico. *Condor* 49: 32-34.
- NELSON, E.W. 1899a. Descriptions of New Birds from Mexico. *The Auk* 16: 25-31.
- NELSON, E.W. 1899b. Descriptions of New Birds from Northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 13: 25-31.
- NELSON, E.W. 1900. Descriptions of Thirty New North American Birds in the Biological Survey Collection. *The Auk* 17: 253-270.
- NELSON, E.W. 1928. Description of Three New Subspecies of Birds from Mexico and Guatemala. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 41: 153-156.
- NEWCOMER, M.W. y G.K. SILBER. 1989. Sightings of Laysan Albatross in the Northern Gulf of California. *Western Birds* 21: 139-140.
- NMBCA. 2000. *Neotropical Migratory Bird Conservation Act, Public Law*. 106th Congres-247, julio 20, pp. 593-597.
- OBERHOLSER, H.C. 1911. A Revision of the Forms of the Ladder-Backed Woodpecker [*Dryobates scalaris* (Wagler)] *Proceedings of the United States National Museum* 41: 139-159.
- OBERHOLSER, H.C. 1930. Notes on a Collection of Birds from Arizona and New Mexico. *Scientific Publications of the Cleveland Museum of Natural History* 1: 83-124.
- PALACIOS, E. y E. MELLINK. 1995. Breeding Birds of Esteros Tobarí and San José, Southern Sonora. *Western Birds* 26: 99-103.
- PALACIOS, E. y E. MELLINK. 1996. Status of the Least Tern in the Gulf of California. *Journal of Field Ornithology* 67: 48-58.
- PATTEN, M.A., E. MELLINK, H. GÓMEZ DE SILVA y T.E. WURSTER. 2001. Status and Taxonomy of the Colorado Desert Avifauna of Baja California. *Monographs in Field Ornithology* 3: 29-63.
- PATTEN, M.A., G. MCCASKIE y P. UNITT. 2003. *Birds of the Salton Sea: Status, Biogeography, and Ecology*. University of California Press, Berkeley.
- PATTEN, M.A., K. RADAMAKER, y T.E. WURSTER. 1993. Noteworthy Observations from Northeastern Baja California. *Western Birds* 24: 89-93.
- PHILLIPS, A.R. 1959. La acrecencia de errores acerca de la ornitología en México con notas sobre *Myiarchus*. Universidad Nacional Autónoma de México *Anales del Instituto de Biología* 30: 349-368.
- PHILLIPS, A.R. 1975. The Migration of Allen's and other Hummingbirds. *Condor* 77: 196-205.
- PHILLIPS, A.R. y D. AMADON. 1952. Some Birds of Northwestern Sonora, Mexico. *Condor* 54: 163-168.
- PITELKA, F.A. 1948. Notes on the Distribution and Taxonomy of Mexican Birds. *Condor* 50: 113-123.
- PRICE, W.W. 1899. Some Winter Birds of the Lower Colorado Valley. *The Bulletin of the Cooper Ornithological Society* 1: 89-93.
- PYLE, P. 1997. *Identification Guide to North American Birds*. Parte I. Slate Creek Press, Bolinas, California.
- RICH T.D., C.J. BEARDMORE, H. BERLANGA, P.J. BLANCHER, M.S. W. BRADSTREET, G.S. BUTCHER, D.W. DEMAREST, E.H. DUNN, W.C. HUNTER, E. IÑIGO-ELIAS, J.A. KENNEDY, A.M. MARTEL, A.O. PANJABI, D.N. PASHLEY, K.V. ROSENBERG, C.M. RUSTAY, T.C. WENDT y T.C. WILL. 2004. *Partners in Flight North American Landbird Conservation Plan*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, Nueva York.
- RIDGWAY, R. 1873. On Some New Forms of American Birds. *American Naturalist* 7: 117-118.
- RIDGWAY, R. 1887a. Description of a New Partridge from Sonora. *Forest and Stream* 28: 106.
- RIDGWAY, R. 1887b. The Imperial Woodpecker (*Campophilus imperialis*) in Northern Sonora. *The Auk* 4: 161.
- RIDGWAY, R. 1901a. New Birds of the Families Tanageridae and Icteridae. *Proceedings of the Washington Academy of Sciences* 3: 149-155.
- RIDGWAY, R. 1901b. The Birds of North and Middle America. *Bulletin of the United States National Museum*, parte 1: 1-751.

- RISING, J.D. 1988. Phenetic Relationships among the Warblers in the *Dendroica virens* Complex and a Record of *D. virens* from Sonora, Mexico. *Wilson Bulletin* 100: 312-316.
- ROBBINS, M.B. y S.N.G. HOWELL. 1995. A New Species of Pygmy-Owl (Strigidae: *Glaucidium*) from the Eastern Andes. *Wilson Bulletin* 107: 1-6.
- RODRÍGUEZ-ESTRELLA, R. 2002. A Survey of Golden Eagles in Northern Mexico in 1984 and Recent Records in Central and Southern Baja California Peninsula. *Journal of Raptor Research* 36: 3-9.
- RODRÍGUEZ-ESTRELLA, R. y B.T. BROWN. 1990a. Density and Habitat Use of Raptors along the Rio Bavispe and Rio Yaqui Sonora Mexico. *Journal of Raptor Research* 24: 47-51.
- RODRÍGUEZ-ESTRELLA, R. y B.T. BROWN. 1990b. Riqueza específica y determinación de la diversidad de las aves rapaces de los ríos Yaqui y Bavispe, en Sonora, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* 41: 1-17.
- RODRÍGUEZ-ESTRELLA, R. y B.T. BROWN. 1990c. Species Richness and Determination of the Diversity of Raptors in the Yaqui and Bavispe Rivers in Sonora Mexico. *Acta Zoológica Mexicana*, nueva serie: 1-17.
- ROJAS-SOTO, O.R., F. PUEBLA-OLIVARES, E.M. FIGUEROA-ESQUIVEL, L.A. SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, Y.J. NAKAZAWA-UEJI, C.A. RÍOS-MUÑOZ y A.G. NAVARRO-SIGÜENZA. 2002. Avifauna of Isla Tiburón, Sonora, Mexico. Universidad Nacional Autónoma de México, *Anales del Instituto de Biología*, serie Zoología, 73: 73-89.
- ROSENBERG, K.V., R.D. OHMART, W.C. HUNTER y B.W. ANDERSON. 1991. *Birds of the Lower Colorado River Valley*. The University of Arizona Press, Tucson.
- RUSSELL, S.M. y D.W. LAMM. 1978. Notes on the Distribution of Birds in Sonora, Mexico. *Wilson Bulletin* 90: 123-131.
- RUSSELL S.M. y G. MONSON. 1998. *The Birds of Sonora*. The University of Arizona Press, Tucson.
- SALVIN, O. y F.D. GODMAN. 1889. Notes on Mexican Birds. Parte 2. *Ibis* 1: 232-243.
- SALVIN O. y F.D. GODMAN. 1900. *Biologia Centrali Americana. Aves*. Taylor and Francis, Londres.
- SHEFFLER, W.J. y A.J. VAN ROSSEM. 1944. Nesting of the Laughing Falcon. *The Auk* 61: 140-142.
- SHORT, L. 1974. Nesting of Southern Sonoran Birds During the Summer Rainy Season. *Condor* 76: 21-32.
- SIMON, D. y W.F. SIMON. 1974. A Yellow-Billed Loon in Baja California, Mexico. *Western Birds* 5: 23.
- SMITH, R.H. y G.H. JENSEN. 1970. Black Brant on the Mainland Coast of Mexico. *Transactions of the Thirty-fifth North American Wildlife and Natural Resources Conference*: 227-241.
- STEPHENS, F. 1885. Notes of an Ornithological Trip in Arizona and Sonora. *The Auk* 2: 225-231.
- STONE, W. y S.N. RHOADS. 1905. On a Collection of Birds and Mammals from the Colorado Delta, Lower California. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 57: 676-690.
- TERRILL, S.B. 1981. Notes on the Winter Avifauna of Two Riparian Sites in Northern Sonora, Mexico. *Continental Birdlife* 2: 11-18.
- TERRILL, S.B. 1985. A Sight Record of the Crescent-Chested Warbler from Lowland Sonora. *American Birds* 39: 11.
- TERRILL, S.B. y L.S. TERRILL. 1986. Common Pauraque (*Nyctidromus albicollis*) Record from Sonora, Mexico. *American Birds* 40: 430.
- TERSHERY, B.R., E. VAN GELDER y D. BREESE. 1993. Relative Abundance and Seasonal Distribution of Seabirds in the Canal de Ballenas, Gulf of California. *Condor* 95: 458-464.
- THAYER, J.E. y O. BANGS. 1906. Breeding Birds of the Sierra de Antonez, North-Central Sonora. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 19: 17-22.
- TOWNSEND, C.H. 1923. Birds Collected in Lower California. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 48: 1-25.
- UABC. 2003. Colección de aves de la Universidad Autónoma de Baja California. Base de datos Remib-conabio. Ensenada, Baja California Norte (<http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>).
- UNAM. 1999. Colección ornitológica del Museo de Zoología «Alfonso L. Herrera». Base de datos Remib-conabio. México (<http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>).
- UNESCO. 2009. *UNESCO World Heritage Sites*. París, Francia (<http://whc.unesco.org/en/list/1182/>).
- VAN RIPER III, C., J. HART, C. OLSON, C. O'BRIEN, A. BANKS, M. LOMOW y K. COVERT. 1999. *Use of the Mexico Colorado River Delta Region by Neotropical Migrant Landbirds*. Report to Cooperators. USGS Biological Resources Division, Colorado Plateau Research Station, Northern Arizona University, Flagstaff.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930a. A New Least Bittern from Sonora. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 227-228.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930b. A New Race of Gilded Flicker from Sonora. *Transactions of the San Diego Socie-*

- ty of *Natural History* 6: 171-172.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930c. A Northwestern Race of the Mexican Goshawk. *Condor* 32: 303-304.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930d. Critical Notes on Some Yellowthroats of the Pacific Southwest. *Condor* 32: 297-300.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930e. Four New Birds from Northwestern Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 213-226.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930f. New Sonora Races of *Toxostoma* and *Pheugopedius*. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 207-208.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930g. Report on a Collection of Land Birds from Sonora, Mexico. *Transactions of the San Diego Natural History Society* 6: 237-304.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930h. Some Geographical Variation in *Piaya cayana*. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 209-210.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930i. The Races of *Auriparus flaviceps*. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 199-202.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930j. The Sonora Races of *Camptostoma* and *Platypsaris*. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 43: 129-132.
- VAN ROSSEM, A.J. 1930k. Two New Subspecies of Birds from Sonora. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 197-198.
- VAN ROSSEM, A.J. 1931a. Report on a Collection of Land Birds from Sonora, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 6: 237-304.
- VAN ROSSEM, A.J. 1931b. Concerning Some Western Races of *Polioptila melanura*. *Condor* 33: 35-36.
- VAN ROSSEM, A.J. 1932. The Avifauna of Tiburon Island, Sonora, Mexico, with Descriptions of Four New Races. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 7: 119-150.
- VAN ROSSEM, A.J. 1933a. A Northern Race of *Melospiza rubricatum* (Cabanis). *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 7: 283-284.
- VAN ROSSEM, A.J. 1933b. Records of Some Birds New to the Mexican State of Sonora. *Condor* 35: 198-200.
- VAN ROSSEM, A.J. 1934a. A Northwestern Race of the Varied Bunting. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 7: 369-370.
- VAN ROSSEM, A.J. 1934b. Critical Notes on Middle American Birds. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 77: 387-490.
- VAN ROSSEM, A.J. 1934c. Notes on Some Races of *Ceophloeus lineatus* (Linnaeus). *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 8: 9-12.
- VAN ROSSEM, A.J. 1935. The Mangrove Warbler of North-Western Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 8: 67-68.
- VAN ROSSEM, A.J. 1937a. A Race of the Derby Flycatcher from Northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 25-26.
- VAN ROSSEM, A.J. 1937b. The Ferruginous Pigmy Owl of Northwestern Mexico and Arizona. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 27-28.
- VAN ROSSEM, A.J. 1939a. A New Race of the Mangrove Swallow from Northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 52: 155-156.
- VAN ROSSEM, A.J. 1939b. A Race of the Yellow-Breasted Chat from the Tropical Zone of Southern Sonora. *Wilson Bulletin* 51: 156.
- VAN ROSSEM, A.J. 1941a. A Race of the Blue-hooded Euphonia from Sonora. *Occasional Papers of the Museum of Zoology of the University of Michigan* 449: 1-2.
- VAN ROSSEM, A.J. 1941b. Further Notes on Some Southwestern Yellowthroats. *Condor* 43: 291-292.
- VAN ROSSEM, A.J. 1941c. The Thick-Billed Kingbird of Northern Mexico. *Condor* 43: 249-250.
- VAN ROSSEM, A.J. 1942a. A New Race of the Rusty Sparrow from North Central Sonora, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 9: 435-436.
- VAN ROSSEM, A.J. 1942b. A Western Race of the Tooth-billed Tanager. *The Auk* 59: 87-89.
- VAN ROSSEM, A.J. 1942c. Four New Woodpeckers from the Western United States and Mexico. *Condor* 44: 22-26.
- VAN ROSSEM, A.J. 1942d. Notes on Some Mexican and Californian Birds, with Descriptions of Six Undescribed Races. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 9: 377-384.
- VAN ROSSEM, A.J. 1945. A Distributional Survey of the Birds of Sonora, Mexico. Louisiana State University, *Occasional Papers of the Museum of Zoology* 21: 1-379.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937. A Northwestern Race of the Mexican Black Hawk. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 8: 361-362.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937a. A Further Report on the Birds from Sonora, Mexico, with Descriptions of Two New Races. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 8: 321-336.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937b. A New Bat Falcon from Sonora. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 25-26.

- cal Society of Washington* 50: 107-108.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937c. A New Woodpecker of the Genus *Piculus* from Sonora. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 195-196.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937d. A Northern Race of *Tytira semifasciata*. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 197-198.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937e. A Race of Verreaux's Dove from Sonora. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 199-200.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937f. The Blue-gray Gnatcatcher of Southern Sonora. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 109-110.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937g. The Tiger-Bittern of Northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 161-162.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1937h. The Yellow-Green Vireo of Northwestern Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 50: 159-160.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1938a. A Dimorphic Subspecies of the Bush-Tit from Northwestern Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 9: 7-8.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1938b. A New Hummingbird of the Genus *Saucerottia* from Sonora, Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 8: 407-408.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1938c. A New Race of the Cliff Swallow from Northwestern Mexico. *Transactions of the San Diego Society of Natural History* 9: 5-6.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1938d. A Race of the Green Kingfisher from Northwestern Mexico. *Condor* 40: 227-228.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1939a. A Northwestern Race of the Mexican Cormorant. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 52: 9-10.
- VAN ROSSEM, A.J. y M. HACHISUKA. 1939b. A Race of the Military Macaw from Sonora. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 52: 13-14.
- VAURIE, C. 1953. Summer Records and Observations on the Island of Tiburon, Sonora, Mexico. *Condor* 55: 217-218.
- VILLASEÑOR-GÓMEZ, J.F. 2006. *Habitat Use and the Effects of Disturbance on Wintering Birds Using Riparian Habitats in Sonora, Mexico*. Disertación Doctoral. University of Montana, Missoula.
- VILLASEÑOR-GÓMEZ, J.F. 2008. Habitat Use of Wintering Bird Communities in Sonora, Mexico: The Importance of Riparian Habitats. *Studies in Avian Biology* 37: 53-68.
- WILLIAMS, S.O.I. 1987. The Changing Status of the Wood Duck (*Aix sponsa*) in Mexico. *American Birds* 41: 372-375.
- WITZEMAN, J., J.P. HUBBARD y K. KAUFMAN. 1976. Southwest Region. The Fall migration. August-November 30, 1975. *American Birds* 30: 105-110.
- YPM. 2006. Yale Peabody Museum Collections. Ornithology Online Catalog (<http://research.yale.edu/peabody/collections/orn/>).
- ZIMMERMAN, D.A. y J.W. BOETTCHER. 1967. The Common Loon in Sonora, Mexico. *Condor* 69: 527.
- ZURIA, I., y E. MELLINK. 2005. Fish Abundance and the 1995 Nesting Season of the Least Tern at Bahia San Jorge, Northern Gulf of California, Mexico. *Waterbirds* 28: 172-180.

Tabla 1. Cantidad de especímenes de aves de Sonora depositados en museos e instituciones de investigación

Institución	Cantidad de especímenes
Museum of Comparative Zoology, Harvard University, Cambridge, MA	4 109
University of California, Los Angeles, CA	3 258
Louisiana State University, Museum of Zoology, Baton Rouge, LA	1 049
University of Kansas, Natural History Museum, Lawrence , KS	743
San Diego Natural History Museum, San Diego, CA	700
Museum of Vertebrate Zoology, Berkley, CA	659
University of Michigan, Museum of Zoology, Detroit, MI	651
Moore Laboratory of Zoology, Occidental College, Los Angeles, CA	639
Western Foundation of Vertebrate Zoology, Camarillo, CA	496
University of Arizona, AZ	483
Field Museum of Natural History, Chicago, IL	466
Delaware Museum of Natural History, Greenville, DE	460
United States National Museum of Natural History, Washington, D.C.	437
British Museum (Natural History), London	311
Los Angeles County Museum of Natural History, Los Angeles, CA	263
American Museum of Natural History, New York, NY	239
Southwestern College, Chula Vista, CA	197
Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM, México	125
Canadian Museum of Nature, Ottawa, Ontario	120
Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh, PA	99
California Academy of Sciences, San Francisco, CA	81
Royal Ontario Museum, Toronto	78
Bell Museum of Natural History, University of Minnesota, St. Paul, MN	70
Cornell University Museum of Vertebrates, Ithaca, New York, NY	62
Museo de las Aves de México, Saltillo, México	58
Academy of Natural Sciences of Philadelphia, PA	48
Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México	26
Peabody Museum, Yale University, New Haven, CT	20
Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad, México	13
Museum Für Naturkunde, Humboldt-Universität Zu Berlin, Germany	12
Natuurhistorische Museum, Linden, Netherlands	9
Florida Museum of Natural History, Gainesville, FL	5
Burke Museum, University of Washington, Seattle, WA	5
Denver Museum of Natural History, Denver, CO	4
Zoologische Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig, Germany	4
Übersee, Museum Bremen, Germany	3
Instituto de Historia Natural y Ecología, Chiapas, México	2
Senckenberg Naturmuseum, Frankfurt, Germany	1
University of British Columbia, Museum of Zoology, Vancouver	1
Zoological Museum, Moscow State University	1
Museum Mensch Und Natur, Munich	1

Fuente: base de datos del Atlas de las Aves de México.

Tabla 2. Referencias sobre las aves de Sonora de las cuales se obtuvieron registros

Períodos	Referencias
Antes de 1890	Lawrence, 1874; Belding, 1883; Stephens, 1885; Brewster, 1885, 1888a y 1888b; Ridgway 1887b; Goss 1888
1891-1900	Allen, 1893; Jouy, 1894; Clark, 1898
1901-1910	Stone y Rhoads, 1905; Thayer y Bangs, 1906
1911-1920	Ninguna
1921-1930	Bancroft, 1927; Van Rossem, 1930, 1930a, 1930b, 1930e, 1930f, 1930h, 1930i y 1930k
1931-1940	Van Rossem, 1931b, 1932, 1933b, 1934a y 1935; Huey, 1935; Van Rossem y Hachisuka, 1937a y 1937e; Moore, 1938
1941-1950	Abbott, 1941; Kenyon, 1941; Sheffler y Van Rossem, 1944; Van Rossem, 1945; Neff, 1947; Pitelka, 1948
1951-1960	Phillips y Amadon, 1952; Booth, 1952; Vaurie, 1953; Marshall, 1957
1961-1970	Banks, 1963 y 1965; Zimmerman y Boettcher, 1967
1971-1980	Smith y Jensen, 1970; Short, 1974; Alden y Mills, 1974; Phillips, 1975; Witzeman <i>et al.</i> , 1976; DeWeese y Anderson, 1976; May, 1976; Harrison y Kiff, 1977; Russell y Lamm, 1978; Kaufman y Witzeman, 1979
1981-1990	Landres y MacMahon, 1980 y 1983; Gallucci, 1981; Terrill, 1981 y 1985, Clark, 1984; Brown y Warren, 1985; Terrill y Terrill, 1986; Monson, 1986, Williams, 1987; Brown <i>et al.</i> , 1987; Rising, 1988; Brown, 1988; Dunning Jr., 1988; Rodríguez-Estrella y Brown, 1990a, 1990b y 1990c
1991-2000	Bates, 1992a y 1992b; Howell, 1993; Mellink y Palacios, 1993; Robbins y Howell, 1995; Howell y Robbins, 1995; Palacios y Mellink, 1995 y 1996; Mellink <i>et al.</i> , 1996 y 1997; Russell y Monson, 1998
2001-2008	Rojas-Soto <i>et al.</i> , 2002; Rodríguez-Estrella, 2002; Flesch, 2003; Hinojosa-Huerta <i>et al.</i> , 2004, 2007 y 2008a; Zuria y Mellink, 2005; Flesch y Hahn, 2005; Duberstein <i>et al.</i> , 2005; Flesch y Steidl, 2006; Flesch, 2008.

Tabla 3. Formas taxonómicas (especies y subespecies) descritas a partir de especímenes colectados en el estado de Sonora

Forma descrita	Nombre actual	Localidad	Referencia
<i>Ortalis wagleri griseiceps</i>		Álamos	Van Rossem, 1934b
<i>Callipepla elegans bensoni</i>	<i>Callipepla douglasi bensoni</i>	30 kilómetros N Cum- pas	Ridgway, 1887a
<i>Lophortyx gambeli pembertoni</i>	<i>Callipepla gambeli pembertoni</i>	Isla del Tiburón	Van Rossem, 1932
<i>Callipepla gambeli fulvipectus</i>		Camóa, Río Mayo	Nelson, 1899a
<i>Colinus ridgwayi</i>	<i>Colinus virginianus ridgwayi</i>	30 kilómetros, SO Sá- sabe	Brewster, 1885
<i>Cyrtonyx montezumae morio</i>	<i>Cyrtonyx montezumae mearnsi</i> Nelson Sinon.	Guirocoba	Van Rossem, 1942d
<i>Sula gossip</i>	<i>Sula neuboxi</i> Milne-Edwards Si- non.	San Pedro Mártir	Goss, 1888
<i>Sula brewsteri</i>	<i>Sula leucogaster brewsteri</i>	San Pedro Mártir	Goss, 1888
<i>Phalacrocorax olivaceus chancho</i>	<i>Phalacrocorax brasiliensis chancho</i>	Tesia	Van Rossem y Hachisuka, 1939a
<i>Ixobrychus exilis pullus</i>		Bahía Tóbari	Van Rossem, 1930a
<i>Heterocnus cabanisi fremitus</i>	<i>Tigrisoma mexicanum fremitus</i>	Guirocoba	Van Rossem y Hachisuka, 1937g
<i>Geranospiza nigra livens</i>	<i>Geranospiza caerulescens livens</i>	Álamos	Bangs y Penard, 1921
<i>Asturina plagiata maxima</i>	<i>Asturina nitida maxima</i>	San Javier	Van Rossem, 1930c
<i>Buteo refescens</i>	<i>Buteo jamaicensis calurus</i> (Cassin) Sinon.	Hermosillo	Salvin y Godman, 1900
<i>Polyborus cheriway ammophilus</i>	<i>Caracara cheriway audubonii</i> (Cas- sin) Sinon.	Tesia	Van Rossem, 1931b
<i>Falco albigularis petrophilus</i>	<i>Falco rufigularis petrophilus</i>	Guirocoba	Van Rossem y Hachisuka, 1937b
<i>Rallus obsoletus rizophorae</i>	<i>Rallus longirostris rizophorae</i>	Bahía Tóbari	Dickey, 1930
<i>Sterna albifrons mexicanus</i>	<i>Sterna antillarum mexicana</i>	Bahía Tóbari	Van Rossem y Hachisuka, 1937a
<i>Columba flavirostris restricta</i>	<i>Patagioenas flavirostris flaviros- tris</i> Wagler Sinon.	Tecoripa	Van Rossem, 1930k
<i>Leptotila verreauxi Santiago</i>	<i>Leptotila verreauxi angelica</i> Bangs and Penard Sinon.	Guirocoba	Van Rossem y Hachisuka, 1937e
<i>Aratinga holochlora brewsteri</i>		Hacienda San Rafael	Nelson, 1928
<i>Ara militaris sheffleri</i>		Guirocoba	Van Rossem y Hachisuka, 1939b
<i>Psittacula cyanopyga pallida</i>	<i>Forpus cyanopygius pallidus</i>	Álamos	Brewster, 1889
<i>Amazona albifrons saltuensis</i>		Guirocoba	Nelson, 1899b
<i>Amazona finschi woodi</i>		Guirocoba	Moore, 1937a
<i>Piaya cayana extima</i>		Guirocoba	Van Rossem, 1930h
<i>Geococcyx velox melanchima</i>		Guirocoba	Moore, 1934b
<i>Glaucidium brasilianum cactorum</i>		Entre Guaymas y Em- palme	Van Rossem, 1937b
<i>Amazilia violiceps conjunta</i>	<i>Amazilia violiceps ellioti</i> (Berleps- ch) Sinon.	Álamos	Griscom, 1934
<i>Cyanomia salvini</i>	Híbrido: <i>Cyananthus latirostris</i> X <i>Amazilia violiceps</i>	Nacozari	Brewster, 1893; Graves, 2003

Tabla 3 (continúa). Formas taxonómicas (especies y subespecies) descritas a partir de especímenes colectados en el estado de Sonora

Forma descrita	Nombre actual	Localidad	Referencia
<i>Saucerottia florenceae</i>	<i>Amazilia florenceae</i> (estatus incierto)	Rancho Santa Bárbara	Van Rossem y Hachisuka, 1938b
<i>Anthoscenus constantii surdus</i>	<i>Heliomaster constantii pinicola</i> - Gould Sinon.	Álamos	Van Rossem, 1934b
<i>Trogon elegans canescens</i>		San Javier	Van Rossem, 1934b
<i>Momotus mexicanus vanrossemi</i>		Chinobampo	Moore, 1932a
<i>Chloroceryle americana leucosticte</i>	<i>Chloroceryle americana hachisukai</i>	Rancho La Arizona	Van Rossem y Hachisuka, 1938d
<i>Centurus uropygialis fuscescens</i>	<i>Melanerpes uropygialis fuscescens</i>	Chinobampo	Van Rossem, 1934b
<i>Centurus uropygialis tiburonensis</i>	<i>Melanerpes uropygialis tiburonensis</i>	Isla del Tiburón	Van Rossem, 1942c
<i>Picus auricularis sonoriensis</i>		Rancho Santa Bárbara	Van Rossem y Hachisuka, 1937c
<i>Dryobates sclateri agnus</i>	<i>Picoides scalaris sinaloensis</i> (Ridgwayi) Sinon.	Camóá, Río Mayo	Oberholser, 1911
<i>Colaptes chrysoides tenebrosus</i>		Ciudad Obregón	Van Rossem, 1930b
<i>Ceophloeus lineatus obsoletus</i>	<i>Dryocopus lineatus obsoletus</i>	Álamos	Van Rossem, 1934c
<i>Phloeocastes guatemalensis dorsofasciatus</i>	<i>Campephilus guatemalensis dorsofasciatus</i>	Guirocoba	Moore, 1935
<i>Xiphorhynchus flavigaster tardus</i>		Hacienda San Rafael	Bangs y Peters, 1928
<i>Lepidocolaptes leucogaster umbrosus</i>		Entre San José y Guirocoba	Moore, 1934a
<i>Mitrephanes phaeocercus tenuirostris</i>		Sierra cerca de Oposura	Brewster, 1888b
<i>Pitangus sulphuratus palliatus</i>	<i>Pitangus sulphuratus derbianus</i> (Kaup) Sinon.	Álamos	Van Rossem, 1937a
<i>Myiozetetes similis primulus</i>		Tesia	Van Rossem, 1930k
<i>Myiarchus nuttingi vanrossemi</i>	<i>Myiarchus nuttingi inquietus</i> (Salvin y Godman) Sinon.	El Gavilán, río Sonora	Phillips, 1959
<i>Tyrannus crassirostris sequestrates</i>	<i>Tyrannus crassirostris pompalis</i> Bangs y Peters Sinon.	Rancho La Arizona	Van Rossem, 1941c
<i>Tyrannus crassirostris pompalis</i>		Álamos	Bangs y Peters, 1928
<i>Platypsaris aglaiae richmondi</i>	<i>Pachyramphus aglaiae richmondi</i>	Rancho La Arizona	Van Rossem, 1930j
<i>Tityra semifasciata hannumi</i>	<i>Tityra semifasciata griseiceps</i> (Ridgway) Sinon.	Cañón de San Francisco	Van Rossem y Hachisuka, 1937d
<i>Vireo hypochryseus nitidus</i>		Hacienda San Rafael	Van Rossem, 1934b
<i>Vireo virescens hypoleucus</i>	<i>Vireo olivaceus hypoleucus</i>	Cañón de San Francisco	Van Rossem y Hachisuka, 1937h
<i>Calocitta colliei arguta</i>		Chinobampo	Van Rossem, 1942d
<i>Otocoris alpestris pallida</i>	<i>Eremophila alpestris leucansiptila</i> (Oberholser) Sinon.		Dwight, 1890
<i>Iridoprocne albilinea rhizophorae</i>	<i>Tachycineta albilinea rhizophorae</i>	Bahía Tóbari	Van Rossem, 1939a
<i>Stelgidopteryx ruficollis psammochrous</i>	<i>Stelgidopteryx serripennis psammochrous</i>	Oposura = Moctezuma	Griscom, 1929
<i>Petrochelidon albifrons minima</i>	<i>Hirundo rustica melanogaster</i> Swainson Sinon.	Río Cuchujaqui	Van Rossem y Hachisuka, 1938c

Tabla 3 (continúa). Formas taxonómicas (especies y subespecies) descritas a partir de especímenes colectados en el estado de Sonora

Forma descrita	Nombre actual	Localidad	Referencia
<i>Auruparus flaviceps fraterculus</i>		Chinobampo	Van Rossem, 1930i
<i>Psaltriparus plumbeus cecaumenorum</i>	<i>Psaltriparus minimus cecaumenorum</i>	Mina La Chumata	Thayer y Bangs, 1906
<i>Psaltriparus minimus dimorphicus</i>	<i>Psaltriparus minimus lloydi</i> (Sennett) Sinon.	Rancho Santa Bárbara	Van Rossem y Hachisuka, 1938a
<i>Picolaptes brunneicapillus</i>	<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	Guaymas	Lafresnaye, 1835
<i>Heleodytes brunneicapillus seri</i>	<i>Campylorhynchus brunneicapillus seri</i>	Isla del Tiburón	Van Rossem, 1932
<i>Catherpes mexicanus meliphonus</i>	<i>Catherpes mexicanus mexicanus</i> (Swainson) Sinon.	Álamos	Oberholser, 1930
<i>Thryophilus sinaloa cinereus</i>	<i>Thryothorus sinaloa cinereus</i>	Álamos	Brewster, 1889
<i>Pheugopedius felix sonorae</i>	<i>Thryothorus felix sonorae</i>	Guirocoba	Van Rossem, 1930f
<i>Troglodytes cahooni</i>	<i>Troglodytes brunneicollis cahooni</i>	Sierra cerca de Oposura = Moctezuma	Brewster, 1888a
<i>Polioptila caerulea gracilis</i>		Rancho Santa Bárbara	Van Rossem y Hachisuka, 1937f
		16 kilómetros N Guaymas	Van Rossem, 1931a
<i>Polioptila melanura lucida</i>		Isla del Tiburón	Van Rossem, 1932
<i>Polioptila melanura curtata</i>		Álamos	Brewster, 1889
<i>Polioptila nigriceps restricta</i>	<i>Polioptila albiloris restricta</i>	Sierra cerca de Álamos	Nelson, 1899b
<i>Myadestes obscurus cinereus</i>	<i>Myadestes occidentalis cinereus</i>	Baromico	Moore, 1937b
<i>Turdus assimilis calliphthongus</i>		Guirocoba	Van Rossem, 1934b
<i>Turdus rufopalliatu grisor</i>		16 kilómetros N Guaymas	Van Rossem, 1942d
<i>Toxostoma bendirei candidum</i>		Tecoripa	Van Rossem, 1942d
<i>Toxostoma bendirei rubricatum</i>		Álamos	Nelson, 1900
<i>Harporhynchus curvirostris maculatus</i>	<i>Toxostoma curvirostre maculatum</i>		
<i>Toxostoma curvirostre insularum</i>		Isla San Esteban	Van Rossem, 1930f
<i>Melanotis caerulescens effuticus</i>	<i>Melanotis caerulescens caerulescens</i> (Swainson) Sinon.	Hacienda San Rafael	Bangs y Penard, 1921
<i>Compothlypis pulchra</i>	<i>Parula pitiayumi pulchra</i>	Hacienda San Rafael	Brewster, 1889
<i>Dendroica aestiva sonorana</i>	<i>Dendroica petechia sonorana</i>	Oposura = Moctezuma	Brewster, 1888a
<i>Dendroica erithachorides rhizophorae</i>	<i>Dendroica petechia rhizophorae</i>	Bahía Tóbari	Van Rossem, 1935
<i>Geothlypis trichas chryseola</i>		Rancho La Arizona	Van Rossem, 1930d
<i>Geothlypis trichas riparia</i>	<i>Geothlypis trichas chryseola</i> Van Rossem Sinon.	Tesia	Van Rossem, 1941b
<i>Euthlypis lachrymosa tephra</i>	<i>Euthlypis lachrymosa</i> (Bonaparte) Sinon.	Hacienda San Rafael	Ridgway, 1901b
<i>Basileuterus rufifrons caudatus</i>		Álamos	Nelson, 1899b
<i>Icteria virens tropicalis</i>	<i>Icteria virens auricollis</i> (W. Deppe) Sinon.	Tesia	Van Rossem, 1939b
<i>Piranga flava zimmeri</i>	<i>Piranga flava hepatica</i> (Swainson) Sinon.	Chinobampo	Van Rossem, 1942b

Tabla 3 (concluye). Formas taxonómicas (especies y subespecies) descritas a partir de especímenes colectados en el estado de Sonora

Forma descrita	Nombre actual	Localidad	Referencia
<i>Piranga erythrocephala candida</i>		Hacienda San Rafael	Griscom, 1934
<i>Melozone rubricatum grisior</i>	<i>Melozone kieneri grisior</i>	Hacienda San Rafael	Van Rossem, 1933a
<i>Pipilo fuscus jamesi</i>		Isla del Tiburón	Townsend, 1923
<i>Pipilo fuscus intermedius</i>		Álamos	Nelson, 1899b
<i>Aimophila carpalis bangsi</i>	<i>Aimophila carpalis</i>	Guirocoba	Moore, 1932b
<i>Peucaea aestivalis arizonae</i>	<i>Aimophila botteri arizonae</i>	Nogales	Ridgway, 1873
<i>Aimophila ruficeps simulans</i>		Mina La Abundancia	Van Rossem, 1934b
<i>Peucaea megarhyncha</i>	<i>Aimophila rufescens mcleodi</i>	Santa Ana	Salvin y Godman, 1889
<i>Aimophila rufescens antonensis</i>		Mina La Chumata	Van Rossem, 1942a
<i>Aimophila cahooni</i>	<i>Aimophila rufescens mcleodi</i>	Sierra cerca de Oposu- ra	Brewster, 1888a
<i>Aimophila quinquistriata septentrionalis</i>		Hacienda San Rafael	Van Rossem, 1934b
<i>Amphispiza bilineata pacifica</i>		Álamos	Nelson, 1900
<i>Amphispiza bilineata cana</i>		Isla San Esteban	Van Rossem, 1930e
<i>Passerculus sandwichensis atratus</i>		Bahía Tóbari	Van Rossem, 1930e
<i>Richmondia cardinalis townsendi</i>	<i>Cardinalis cardinalis townsendi</i>	Isla del Tiburón	Van Rossem, 1932
<i>Cardinalis cardinalis affinis</i>		Álamos	Nelson, 1899b
<i>Passerina versicolor dickeyae</i>		Chinobampo	Van Rossem, 1934a
<i>Scaphidurus major nelsoni</i>	<i>Quiscalus mexicanus nelsoni</i>	Álamos	Ridgway, 1901a
<i>Icterus wagleri castaneopectus</i>		Sierra cerca de Oposu- ra	Brewster, 1888a
<i>Icterus cucullatus restrictus</i>	<i>Icterus cucullatus nelsoni</i> Ridgway Sinon.	Agiabampo	Van Rossem, 1945
<i>Icterus pustulatus microstictus</i>		Guaymas	Griscom, 1934
<i>Tangara elegantissima viscivora</i>	<i>Euphonia elegantissima rileyi</i>	Cañón de San Francis- co	Van Rossem, 1941a
<i>Carpodacus mexicanus sonorien- sis</i>	<i>Carpodacus mexicanus ruberrimus</i> Ridgway Sinon.	Álamos	Ridgway, 1901b

Nota: se indica el nombre original, el nombre válido actual o su sinonimia, la localidad del espécimen y la referencia de la descripción original.

Tabla 4. Resumen general de las especies de aves registradas en el estado de Sonora, organizadas por familia taxonómica

Familia	Especies	Estatus estacional				NMBCA	Endemismo			NOM-059-ECOL-2001				IUCN-2006			
		R	RV	MP	M		End	Qen	Sem	P	PA	A	Ex	CR	P	VU	CA
Anatidae	36	1	1	2	32	21	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
Cracidae	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Phasianidae	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Odontophoridae	5	5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
Gaviidae	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Podicipedidae	6	1	0	0	5	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Diomedidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Procellariidae	4	1	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	
Hydrobatidae	3	1	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	
Phaethontidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Sulidae	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pelecanidae	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Phalacrocoracidae	3	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Anhingidae	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fregatidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ardeidae	13	10	1	1	1	12	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	
Threskiornithidae	3	1	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ciconiidae	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Cathartidae	2	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Accipitridae	22	11	0	7	4	8	0	0	0	2	10	3	0	0	0	2	
Falconidae	8	5	0	2	1	4	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	
Rallidae	7	3	0	1	3	6	0	0	0	1	2	1	0	0	0	1	
Gruidae	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Charadriidae	9	2	0	0	7	7	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	
Haematopodidae	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Recurvirostridae	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Jacaniidae	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Scolopacidae	28	1	0	0	27	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Laridae	28	4	3	0	21	19	0	0	3	0	4	0	0	0	0	2	
Stercorariidae	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alcidae	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	
Columbidae	10	10	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Psittacidae	7	4	3	0	0	0	4	0	0	2	2	2	0	0	1	2	
Cuculidae	6	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tytonidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Strigidae	15	11	2	0	2	3	1	0	2	0	1	1	0	0	0	1	
Caprimulgidae	7	3	4	0	0	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Apodidae	5	2	2	0	1	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Trochilidae	16	8	4	0	4	11	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	
Trogonidae	3	3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	
Momotidae	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alcedinidae	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Picidae	16	11	0	0	5	2	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	
Dendrocolaptidae	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Tyrannidae	36	15	7	3	11	24	0	1	4	0	0	0	0	0	0	1	

Tabla 4 (concluye). Resumen general de las especies de aves registradas en el estado de Sonora, organizadas por familia taxonómica

Familia	Especies	Estatus estacional				NMBCA	Endemismo			NOM-059-ECOL-2001				IUCN-2006			
		R	RV	MP	M		End	Qen	Sem	P	PA	A	Ex	CR	P	VU	CA
Laniidae	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vireonidae	13	4	2	2	5	9	1	0	3	1	1	0	0	0	0	1	1
Corvidae	11	10	0	0	1	0	3	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Alaudidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hirundinidae	9	1	4	2	2	7	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Paridae	3	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Remizidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aegithalidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sittidae	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Certhiidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Troglodytidae	11	7	0	1	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cinclidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Regulidae	2	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sylviidae	3	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turdidae	15	7	0	3	5	8	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Mimidae	9	4	0	2	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
Sturnidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Motacillidae	4	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Bombycillidae	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ptilogonatidae	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peucedramidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parulidae	43	3	4	5	31	36	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Thraupidae	6	3	1	0	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emberizidae	37	13	0	8	16	17	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	2
Cardinalidae	12	3	2	2	5	8	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1
Icteridae	17	4	1	7	5	12	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Fringillidae	13	8	0	0	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Passeridae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales	556	224	47	50	235	290	26	13	38	10	36	19	1	1	1	8	18

Notas: los términos usados para definir el estatus estacional son: R = Residente permanente, RV = residente de verano, MP = migratoria parcial, M = migratoria. La columna NMBCA indica las especies de interés para el Acta de Conservación de Aves Migratorias Neotropicales. Las claves usadas para indicar el nivel de endemismo de cada especie son: End = especies endémicas de México, Qen = especies cuasiendémicas de México, Sem = especies semiendémicas de México. La columna NOM-059-ECOL-2001 indica las especies incluidas en la Norma Oficial Mexicana respectiva, con los siguientes términos: P = en peligro de extinción, PE = Protección Especial, A = amenazadas, Ex = Extintas. La columna IUCN indica las especies incluidas en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales, con los siguientes términos: CR = en peligro de extinción crítico, P = en peligro de extinción, VU = vulnerable, CA = casi amenazada. Para mayor detalle sobre las definiciones, referirse a la sección de métodos.

MAMÍFEROS

REYNA A. CASTILLO-GÁMEZ,¹ JUAN PABLO GALLO-REYNOSO,² JANITZIO EGIDO-VILLARREAL² Y WILLIAM CAIRE³

RESUMEN. La composición fisiográfica de Sonora proporciona una gran variedad de hábitats para los mamíferos de la entidad. Presentamos los resultados de una revisión sobre los mamíferos terrestres de Sonora con el fin de consolidar la información previa y difundir el conocimiento reciente sobre la distribución, amenazas y estado de conservación. La información es resultado de la revisión exhaustiva de literatura, el examen de especímenes de museo y de trabajo de campo. Los resultados muestran que Sonora cuenta con 126 especies de mamíferos terrestres, las cuales representan 27% del total en México. Sonora cuenta con 76% de las familias y casi la mitad (49%) de todos los géneros presentes en el país. Los grupos mejor representados a escala nacional son los carnívoros (78%) y los artiodáctilos (56%). Los grupos más diversos de mamíferos terrestres en el estado son los roedores (44%), los murciélagos (30%) y los carnívoros (14%). Sonora tiene treinta especies enlistadas en la NOM-059-ECOL-2001. Hay dos especies extintas, aunque pueden ser más. No hay especies endémicas para la región continental, pero hay cinco especies en México que sólo están presentes en Sonora. Existen 35 especies de posible presencia en el estado. En este escenario se analizan las amenazas y las perspectivas de conservación de los mamíferos terrestres de Sonora.

ABSTRACT. The physiographic composition of Sonora provides a great variety of habitats for the mammals of the state. In this chapter we review data on the mammals of Sonora in order to consolidate previous information and to show recent knowledge about their distribution, threats and conservation status. The information is the result of a literature review, the analysis

of museum specimens and field work. The results show that Sonora has 126 species of terrestrial mammals that represent 26% of the terrestrial mammals of Mexico. The state has 76% of the families and almost half (49%) the genera present in Mexico. The best represented groups at the national level are the carnivores (78%) and the artiodactyls (56%). The most diverse groups of terrestrial mammals in the state are rodents (44%), bats (30%) and carnivores (14%). Sonora has thirty land mammal species listed in the legislation on species in danger of extinction, threatened or under protection (NOM-059-ECOL-2001). Two species have become extinct, although the number might be greater. There are no endemic species for the continental region but there are five Mexican species that are found only in Sonora. We provide a list of 35 species that might be present in the state. Under this scenario, we analyze the major threats and provide a perspective on the conservation of terrestrial mammals of Sonora.

INTRODUCCIÓN

La fauna mastozoológica de Sonora resulta interesante y variada debido a la diversidad fisiográfica del territorio en el estado. Sonora es el segundo estado más grande del país con un área de 184 934 km². Una gran porción (48%) está cubierta por el Desierto Sonorense que ocupa gran parte del centro y oeste del estado. El Golfo de California y el río Colorado forman la frontera noroeste de Sonora como parte del Desierto Sonorense. Los ambientes neotropicales ocurren hacia el sur del estado, pero con importantes entradas de flora y fauna tropical hacia el norte de la entidad a través de ríos como el Cuchujaqui, Mayo, Bavispe-Yaqui y, en menor aportación, el Sonora. La Sierra Madre Occidental ha-

¹ Universidad de Sonora.

² Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.

³ University of Central Oklahoma.

cia el este separa a Sonora de Chihuahua y del Desierto Chihuahuense, aunque su influencia se deja sentir en algunas porciones del noreste del estado, en las altas planicies desde la sierra el Chivato, al oeste de Santa Cruz, hacia la Sierra San Luis. La Sierra Madre Occidental y su gran área de influencia a través de las «Islas del Cielo» constituye una gran influencia neártica para el estado. Esta vasta y diversa composición fisiográfica, provee de una gran diversidad de comunidades bióticas, las cuales permiten una gran variedad de hábitats para una gran diversidad de especies de mamíferos.

Historia de la mastozoología en Sonora

El primer colector de mamíferos en Sonora con fines científicos fue J.H. Clark, asociado con las exploraciones del Ferrocarril del Pacífico en Arizona, que en 1851 colectó el ejemplar tipo de *Peromyscus maniculatus sonoriensis* (Caire, 1978). Poco después, Caleb B.R. Kennerly, participante en la exploración de los límites fronterizos entre Estados Unidos y México, colectó en 1855 el espécimen tipo de oso pardo *Ursus kennerleyi* (= *Ursus horribilis*) (Hall, 1932). Dos años después, en 1857, Zenón Córdova, quien trabajaba para el museo de la Comisión Geográfico-Exploradora de México, colectó ardillas cerca de Hermosillo (Caire, 1978).

La actividad de colecta en Sonora se incrementó durante la última década del siglo XIX. Vernon Bailey, al servicio de la Oficina de Exploración Biológica (Bureau of Biological Survey) de Estados Unidos, en 1889, fue el primer colector entrenado en sistemática en coleccionar mamíferos del estado. En 1890 Carl Lumholtz comenzó sus exploraciones en el noroeste de México. Como parte de los monitoreos internacionales fronterizos, E.A. Mearns y F.X. Holzner coleccionaron mamíferos durante 1892 y 1894. Otras pequeñas colecciones fueron hechas por B.C. Condit en 1894 y por W.J. McGee y J.W. Mitchell en 1895. Antes de 1898 la mayor actividad recolectora se encontraba confinada a las regiones norteñas del estado, cerca de la frontera internacional. Edward A. Goldman, en 1898 y 1899, fue el primero en hacer grandes colecciones de los

mamíferos del sur de Sonora.

Durante los primeros treinta años del siglo XX sólo se hicieron pequeñas colectas en Sonora. En 1903 J. Rowley colectó en el norte de Sonora y, en 1911, H.E. Anthony, quien trabajaba para el American Museum of Natural History, colectó en las islas del Tiburón y San Esteban. Charles Sheldon, un cazador deportivo y naturalista, colectó en la sierra del Pinacate, la sierra del Rosario, el rancho La Libertad y la Isla del Tiburón durante 1915, 1916 y 1918. Desde 1929 a 1934, J.T. Wright colectó extensivamente en casi todo Sonora. Durante 1930 L.R. Dice y W. P. Harris coleccionaron en la porción noroeste de Sonora.

El trabajo de campo de William H. Burt comenzó en 1931 cuando visitó las islas del Tiburón, San Esteban, Turner y San Pedro Nolasco, así como algunos puntos adyacentes de la costa de Sonora. Regresó al estado en 1933 y en esa ocasión concentró un gran esfuerzo de colecta en las montañas del extremo suroeste del estado. Su trabajo: «Faunal Relationship and Geographical Distribution of Mammals in Sonora, Mexico», publicado en 1938, se basó en una gran cantidad de literatura y registros de museo concernientes a la taxonomía y distribución de los mamíferos de Sonora y resumió el desarrollo histórico del conocimiento científico de los mamíferos de Sonora hasta 1935.

En 1932 V. Bailey, F.W. Winthrop y B. Bailey recolectaron mamíferos desde la región del río Bavispe, en la Sierra Madre Occidental, hasta el rancho Costa Rica, cerca del poblado Miguel Alemán, en las planicies del Desierto Sonorense. El año siguiente, 1933, P.M. Blossom y C. Lamb hicieron colectas en la sierra del Pinacate y las porciones centro-norte del estado, respectivamente. En 1934 y 1935 L.M. Huey colectó a lo largo de la costa, desde Punta Peñascosa a Bahía de Kino. También en 1935 B. Campbell hizo una pequeña colecta de los mamíferos de las montañas cerca de los Pilares y la sierra del Tigre.

Durante los últimos años de la década de 1930 y a principios de la de 1940 se redujo la colecta de mamíferos en Sonora debido a la Segunda Guerra Mundial. Las colecciones más extensas de este tiem-

po fueron hechas por S. Benson, C.G. Sibley, M. Delgadillo y J.E. Simpson. Otras colecciones más pequeñas durante la guerra fueron hechas por D.H. Johnston, A. Nichol, H. Corrales, W. Brandler, A.S. Leopold y L. Woodell.

Durante las décadas de 1950 y 1960 y a principios de la de 1970, la colecta en Sonora alcanzó su máxima actividad. La mayoría del trabajo mastozoológico fue realizado a través de instituciones educativas, universidades, museos privados y agencias gubernamentales. Un gran número de estudiantes y profesores realizaron estudios que sirvieron para la creación de grandes y valiosas colecciones. Las actividades de colectas se centraron en aspectos particulares de la taxonomía o de la biología de ciertos géneros y especies. La tendencia fue la de coleccionar sólo aquellas especies que se encontraban como objetivo de investigaciones específicas, alejándose de las colectas masivas, típicas de los trabajos pioneros en Sonora.

Sería abrumador el documentar las colectas, las áreas específicas de cada uno de los colectores que han visitado Sonora durante las últimas décadas o que continúan involucrados activamente en la investigación o que tienen estudiantes también involucrados en la investigación sobre los mamíferos de Sonora. Algunos de los más prominentes contribuidores al conocimiento de la mastofauna sonorense en el siglo pasado son: A.A. Alcorn, J.R. Alcorn, T. Álvarez, S. Anderson, R.H. Baker, R.J. Baker, R.C. Banks, G.R. Bradshaw, M.A. Bogan, E.L. Cockrum, D.G. Constantine, J.S. Findley, A.L. Gardner, H.H. Genoways, W.W. Goodpaster, C.O. Handley, B. Hayward, D.F. Hoffmeister, E.T. Hooper, L.G. Ingles, T.E. Lawlor, W.Z. Lidicker, C.A. Long, R.B. Loomis, G.C. Mitchell, R.L. Packard, J.L. Patton, W.G. Reeder, H.W. Setzer, R.C. Van Gelder, B. Villa, E.G. Zimmerman y W. Caire.

Cabe destacar una obra de gran envergadura que logró reunir toda esta información generada por más de un siglo y que fue realizada por William Caire, quien comenzó su trabajo sobre los mamíferos de Sonora en 1973 bajo la dirección de James S. Findley de la Universidad de Nuevo México. Ya se había adicionado una gran cantidad de

especímenes a las colecciones de museos y a la literatura desde el trabajo de Burt (1938), por lo que consideraron que una revisión de los mamíferos de Sonora sería de gran valor. Caire logró reunir una gran parte de la extensa literatura, información de especímenes de museo y sus propias aportaciones sobre los mamíferos de Sonora, lo cual ha sido de gran utilidad para las generaciones que recientemente se están incorporando a la investigación. Caire (1997) enlista 124 especies de mamíferos terrestres para Sonora, algunas de las cuales no cuentan con un ejemplar colectado y sólo se presume su presencia en el estado.

Después del trabajo de Caire no hubo un crecimiento en el número de personas dedicadas a los mamíferos en Sonora, por lo que las recopilaciones de la información existente no suministraron aportaciones, pero sí produjeron algunas confusiones; por ejemplo, la mención de que, entre otras especies, en el estado se distribuye el jaguarundi (*Puma yagouaroundi*) (véase más adelante), sin que hubiera una sola colecta u observación (Caire, 1978 y 1997; Hall, 1981; Álvarez-Castañeda y Patton, 2000; Wilson y Ruff, 1999; Ceballos y Oliva 2005).

Después de los trabajos de W. Caire, otras instituciones, tanto de Sonora como de otros estados del país y de Estados Unidos, han incrementado sus trabajos en el estado, enfocados principalmente en aspectos de distribución, ecología, relaciones de hábitat y etnofauna. También se han hecho nuevos reconocimientos relacionados con las Áreas Naturales Protegidas, la erradicación y monitoreo de fauna exótica e inspección de las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) relacionadas con la cacería deportiva. Las instituciones que recientemente han realizado trabajos sobre la mastofauna de Sonora incluyen al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), el Centro Ecológico de Sonora (CES), el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Guaymas, el Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto de Biología de la UNAM, la Facultad de Ciencias de la UNAM, la Universidad de

California en Santa Cruz, la Universidad de Nuevo México, la Universidad Autónoma de Querétaro, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (Cibnor), el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), la Universidad Autónoma de Baja California Campus Ensenada y el Prescott College, entre otros.

Objetivos

Este análisis sobre la fauna de mamíferos de Sonora pretende reunir la información previamente publicada, así como resumir el conocimiento reciente sobre la distribución y biogeografía de los mamíferos en el estado. Asimismo, pretendemos describir las principales amenazas para los mamíferos, así como las perspectivas de su conservación en el estado de Sonora.

MÉTODOS

La información resumida de los registros de las especies es el resultado de una revisión exhaustiva de la literatura, el examen de cerca de trece mil especímenes de museo y del trabajo de campo. Además del material directamente relacionado con la ecología y la distribución de los mamíferos, la búsqueda bibliográfica incluyó temas relacionados al ambiente físico del estado.

No hemos examinado o registrado cada espécimen que se haya colectado en Sonora. Las colecciones revisadas se enlistan en el apéndice I (en disco compacto). Algunas de las colecciones no fueron visitadas porque se tiene la información sobre la existencia de especímenes duplicados en otras colecciones que sí fueron visitadas. Es muy poco probable que hayamos omitido algún ejemplar crítico.

Además de que uno de nosotros (W. Caire) visitó la mayoría de las colecciones, se realizó trabajo de campo en un sinnúmero de viajes. Se hicieron pequeñas colectas de mamíferos, por lo que nos familiarizamos con la mayor parte de las regiones de Sonora. No consideramos en esta ocasión a los mamíferos marinos del Golfo de California.

Se incluye una lista de las especies exóticas (especies que no son nativas de Sonora) presentes en el estado. Las especies se dividieron en especies plaga (las que a través de los cultivos han podido expandir y acrecentar sus poblaciones y han desplazado a otras especies de sus áreas de distribución o de su hábitat), domesticadas (las que son objeto de ganadería y que hacen algún tipo de trabajo para el humano) y de interés cinegéticos y de ornato (pueden ser especies locales, controladas con instrumentos legales como las UMA).

Para el análisis de la distribución se dividió al estado en tres regiones: Neártica, Neotropical y Desierto Sonorense. Mientras que las regiones Neártica y Neotropical corresponden principalmente a las regiones biogeográficas con el mismo nombre, decidimos incluir al Desierto Sonorense como una tercera región, ya que por sí sola ocupa casi la mitad del territorio del estado (48%) y porque representa una mezcla particular y única de los dos ambientes anteriores que hace casi imposible y confusa la asignación de las subespecies a una de las otras dos regiones. El análisis se hizo a nivel de subespecie, dado que se conoce la mayoría de éstas, las cuales están mejor representadas por región.

El arreglo de las categorías taxonómicas hasta el nivel de género sigue a Hall (1981) y a Ceballos y Oliva (2005) y hasta el nivel de especie a Wilson y Ruff (1999) y a Ceballos y Oliva (2005). Las familias, géneros y especies se encuentran presentadas alfabéticamente.

DIVERSIDAD DE LOS MAMÍFEROS TERRESTRES DE MÉXICO Y SONORA

La fauna de mamíferos terrestres en el estado de Sonora comprende 126 especies (apéndice II en disco compacto). Este total excluye a las especies presentes en las islas del Golfo de California y sólo contempla las de presencia comprobada, es decir, aquellas de las que existe por lo menos un ejemplar colectado y depositado en una colección mastozoológica. Si se añaden las especies de posible ocurrencia (35), la cifra se eleva a ciento sesenta y uno

(Caire 1978 y 1997; Hall, 1981; Álvarez-Castañeda y Patton, 1999 y 2000; Ceballos y Oliva, 2005).

El listado incluye 22 especies monotípicas (especies sin subespecies reconocidas) y 104 politípicas (especies con subespecies descritas), con 158 subespecies, para un total de 180 taxones para el estado. Según las cifras de Ceballos y Oliva (2005), Sonora ocupa el octavo lugar, junto con Michoacán (128 especies), en cuanto al número de especies de mamíferos terrestres en México. Esta riqueza de especies es prácticamente similar a la de Chihuahua (126 especies), superior a la de Sinaloa (108) y Baja California (108) y menor a la de Arizona (138) y Nuevo México (139), estados vecinos de Sonora (Ceballos y Oliva, 2005; Findley *et al.*, 1975; Hofmeister, 1986).

En México hay 525 especies de mamíferos (Ceballos y Oliva, 2005), de las cuales 473 son terrestres. La comparación de los órdenes, familias, géneros y especies entre Sonora y el país se puede observar en la tabla 1. En cuanto a los órdenes, en Sonora no hay monos (Primates) ni tapires (Perissodactyla). En relación con las familias, además de los monos (Atelidae) y los tapires (Tapiridae), en el estado no hay tlacuaches lanudos (Caluromyinae), osos hormigueros (Mirmecophagidae), topos (Talpidae), algunos murciélagos tropicales (Thyropteridae, Noctilionidae), agutís (Cuniculidae) ni guaqueques (Dasyproctidae). En Sonora está presente casi la mitad (49%) de todos los géneros presentes en el país y un poco más de la cuarta parte (27%) del total de mamíferos terrestres de México.

La riqueza de especies en el estado en cada orden de mamíferos en comparación con la riqueza de especies nacional se observa en la tabla 2. El grupo mejor representado en Sonora es el de los carnívoros (78%), seguido por el de los artiodáctilos

Tabla 1. Comparación de los órdenes, familias, géneros y especies de mamíferos entre Sonora y México

Categoría	México	Sonora	%
Órdenes	10	8	80
Familias	37	28	75.7
Géneros	140	68	48.6
Especies	473	126	26.6

Tabla 2. Comparación de la riqueza de especies dentro de cada orden de mamíferos entre Sonora y México

Grupo	México	Sonora	%
Didelphimorphia	8	2	25.0
Xenarthra	4	1	25.0
Insectivora	32	2	6.3
Chiroptera	137	38	27.7
Primates	3	0	0.0
Carnívora	29	18	62.1
Artiodactyla	9	5	55.6
Perisodactyla	1	0	0.0
Rodentia	235	55	23.4
Lagomorpha	15	5	33.3
Total	473	126	26.6

(56%). El grupo más pobremente representado es el de los insectívoros (6%). El estado cuenta con más de tres cuartas partes de los carnívoros, con más de la mitad del total de especies de artiodáctilos y con alrededor de un tercio del total de especies de lagomorfos presentes en el país. Una cuarta parte de las especies de armadillos y marsupiales de México están representados en Sonora.

El grupo más diverso de los mamíferos terrestres en el estado de Sonora pertenecen al orden Rodentia (43.6%). Le siguen el Chiroptera (30.2%) y el Carnívora (14.2%); el resto de los órdenes combinados suman el 12% restante.

En el orden Didelphimorphia encontramos dos de las ocho especies presentes en el país; es en el límite sur del estado donde el tlacuachín (*Tlacuatzin canescens*) alcanza su distribución más norteña.

Incluimos al armadillo (*Dasyopus novemcinctus*) en el listado porque se cuenta con dos ejemplares colectados y una colecta por fototrampeo. El primero fue colectado en 1994 en el lado sur de la sierra de Álamos, al sur del estado, y está depositado en el Museo de Historia Natural de la Universidad de Arizona. El segundo ejemplar fue colectado en el municipio de Yécora en 2006 y el ejemplar colectado por fototrampeo en el municipio de Álamos; el ejemplar de Yécora está depositado en la colección de vertebrados del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Guaymas, al igual que el ejemplar de fototrampeo.

Antes de estos registros, sólo había referencias anecdóticas sobre su presencia en el estado.

Sólo existen dos especies de insectívoros en el estado, ambas musarañas monotípicas, pero es muy posible la presencia de otras tres especies, también musarañas, en los límites con Chihuahua.

Los murciélagos son el segundo grupo con mayor número de especies en Sonora (38), así como el primero en riqueza en familias (7) y en géneros (22). La familia Vespertilionidae es la más diversa en especies (17) y subespecies (14). Un total de 15 especies de murciélagos tienen en el estado su distribución más norteña.

En el orden Carnívora, Sonora cuenta con las tres especies de cánidos existentes en México y con cinco de las seis de felinos. La nutria de río neotropical (*Lontra longicaudis annectens*) tiene su límite de distribución aquí en el estado (Gallo-Reynoso, 1996 y 1997).

El orden Artiodactyla está representado por cinco de las nueve especies existentes en México. Esto constituye más de la mitad del total de especies de artiodáctilos para el país.

El orden Rodentia es el grupo con el mayor número de especies en el estado (55). La mayor riqueza de especies se concentra en la familia Muridae (26), seguida por la familia Heteromyidae (15). En Sonora existe uno de los dos únicos complejos (colonias interconectadas) de perritos de la pradera (*Cynomys ludovicianus*) en México (Castillo-Gómez 2005, Castillo-Gómez *et al.*, 2005).

Los lagomorfos constituyen sólo 4% de los mamíferos del estado, pero comprenden alrededor de un tercio del total de especies de liebres y conejos en el país. Sonora cuenta con tres de las cinco especies de liebres de México.

Especies en riesgo

Sonora presenta treinta especies de mamíferos terrestres bajo alguna categoría de riesgo en la NOM-059-ECOL-2001 (Semarnat, 2002), lo cual constituye 24% del total (apéndice II en disco compacto). No obstante, ocho corresponden a subespecies insulares, lo que reduce a 18% la proporción

de mamíferos continentales en alguna categoría de riesgo. Cabe mencionar que si bien algunas especies presentes en Sonora aparecen mencionadas en la Norma Ecológica, la(s) subespecie(s) protegida(s) no se encuentra(n) en el estado. En esta situación tenemos a siete especies y no se consideraron para este análisis.

En la categoría de Amenazadas (A) existen 11 especies, por lo que es la categoría de protección más numerosa. Aquí tenemos a la musaraña del desierto (*Notiosorex crawfordi*), dos especies de murciélagos trompudos (*Choeronycteris mexicana* y *Leptonycteris yerbabuenae*), la zorrilla orejona (*Vulpes macrotis*), la nutria o perro de agua (*L. longicaudis*), el tejón (*Taxidea taxus*), dos especies de ratas (*Neotoma varia* y *Ondatra zibethicus*), un ratón (*Peromyscus boylii*), el perrito de la pradera (*C. ludovicianus*) y la ardilla *Sciurus arizonensis*. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, por sus siglas en inglés) en su Lista Roja de Especies Amenazadas (2007) considera a estas especies como en «riesgo bajo, (interés mínimo)» [Lower risk (least concern)], excepto a *C. ludovicianus* y *S. arizonensis*, las cuales considera en «riesgo bajo pero próxima a considerarse como amenazadas» [Lower risk (near threatened)]; a *L. longicaudis*, que presenta datos insuficientes (data deficient); a *N. varia*, en peligro (endangered) y a *L. yerbabuenae* como vulnerable (vulnerable).

Las especies bajo protección especial (Pr) son el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), un ratón de abazones (*Perognathus amplus*) y una rata de campo (*N. phenax*). El borrego cimarrón es una especie sobre la cual existe un interés cinegético muy grande, tanto como trofeo como por el precio de los permisos de caza (INE, 2000), de tal suerte que, a pesar de que sus poblaciones se encontraban en condiciones críticas (Lee y Mellink, 1995; Lee y López, 1996), se permitió su aprovechamiento al colocarlos en esta categoría. De esta forma, el mismo interés económico sobre la especie ha propiciado un manejo adecuado de sus poblaciones y, al parecer, éstas se están recuperando en número (INE, 2000), aunque presentan graves problemas genéticos (Gasca-Pineda *et al.*, 2008). El ratón de aba-

zones y la rata presentan una distribución restringida en el estado (Álvarez-Castañeda y Patton, 1999), pero la distribución de ambas especies en general es pequeña (Hall, 1981). La UICN considera a estas especies en «riesgo bajo, (interés mínimo)», excepto a *P. amplus*, a la cual considera como en «riesgo bajo pero próxima a considerarse como amenazada».

Se presentan siete especies en peligro de extinción (P): el berrendo (*Antilocapra americana*), el jaguar o tigre (*Panthera onca*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el tigrillo (*L. wiedii*), el murciélago pescador (*Myotis vivesi*), el castor (*Castor canadensis*) y el puercoespín (*Erethizon dorsatum*). El berrendo está presente en cantidades aún pequeñas (apenas 433 en 2006; Meléndez *et al.*, 2006) y está sujeto a presiones muy fuertes por la cacería y la fragmentación del hábitat (Meléndez *et al.*, 2006). El jaguar o tigre se encuentra en gran parte del estado, principalmente en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, en ambientes ribereños como el río Yaqui y el río Mayo y en ambientes semidesérticos como la sierra del Bacatete. No obstante, el jaguar afronta una fuerte presión de cacería dado que se le atribuyen las muertes de ganado en varias regiones del estado, aunque estos casos son realmente pocos. El ocelote o gato galaviz tiene una amplia distribución, sobre todo a lo largo de los ambientes ribereños de los ríos, como el Mayo y el Yaqui (López-González *et al.*, 2003). El tigrillo solamente ha sido encontrado en el sur en los límites con Sinaloa y Chihuahua (Gallo-Reynoso y Navarro-Serment, 2002). El murciélago pescador se encuentra en las costas rocosas e islas, desde Guaymas hasta la Isla del Tiburón, donde alcanza su distribución más norteña; en el pasado fueron exterminados mediante fuego por temor a la rabia, pero actualmente sus poblaciones se encuentran estables, aunque no se encuentran en grandes números ya que el hábitat y sus costumbres alimentarias son altamente especializados. Con respecto al castor, se encuentra una población dividida en tres lugares: el río Colorado, el río San Pedro limítrofe con Arizona y el río Bavispe y sus afluentes; la población no es muy abundante y en el Bavispe fue

erradicada río abajo de la presa La Angostura, en donde todavía se pueden apreciar grandes álamos, con marcas muy antiguas, roídos por castores; actualmente la especie está confinada a la parte alta del río Bavispe y sus tributarios (Gallo-Reynoso *et al.*, 2002). El puercoespín se encuentra en la Sierra Madre Occidental, en partes poco perturbadas, aunque también hay registros en el Desierto Sonorense (Hall, 1981). Tanto la distribución del puercoespín como la del castor en el estado son marginales, con distribución mucho más amplia hacia el norte del continente. La UICN considera a estas especies como de «riesgo bajo (interés mínimo)», con excepción de la especie *P. onca*, enlistada como «próxima a considerarse como amenazada» y *M. vivesi*, considerada como «vulnerable».

Las especies incluidas en la categoría de extintas (E) realmente son extirpadas del estado y del país; estas son: el lobo mexicano (*Canis lupus baileyi*) y el oso pardo (*Ursus arctos*), cuyo último registro de su presencia en el estado fue de 1976 (Gallo-Reynoso *et al.*, 2008). Asimismo, detectamos cinco especies más que de comprobarse que alguna vez existieron en Sonora podrían considerarse como extirpadas. En esta situación están el bisonete (*Bison bison*), el wapiti (*Cervus canadensis*), la nutria (*L. canadensis*) y el hurón de patas negras (*Mustela nigripes*).

Sonora no tiene especies endémicas para la región continental. No obstante, hay cinco en México que sólo están presentes en el estado: la musaraña *N. crockumi*, el ratón de abazones *P. amplus*, la rata *N. devia*, la ardillita *Ammospermophilus harrisi* y la ardilla gris *S. arizonensis*.

Hay 35 especies de posible presencia en el estado (tabla 3); su existencia en los estados vecinos, muy cerca del límite con Sonora, y la continuidad del hábitat entre los estados adyacentes hacen muy posible que así sea, lo cual ha provocado que varias aparezcan enlistadas para Sonora cuando en realidad nunca se han colectado. Tal es el caso del murciélago *Myotis volans*, la ardilla *S. aberti*, la comadreja *M. frenata* y el jaguarundi *P. yagouaroundi*. Por su parte, la comadreja (*M. frenata*) y el murciélago (*M. volans*) tienen una distribución muy

Tabla 3. Especies de mamíferos con presencia posible en Sonora

Nombre científico	Nombre común	Nombre común en inglés	Distribución	NOM-059-ECOL-2001	UICN
INSECTÍVORA					
Soricidae					
<i>Notiosorex evotis</i> (Coues, 1877)	Musaraña	Large-eared Gray Shrew	Sinaloa	A	Desconocido
<i>Sorex arizonae</i> Diersing y Hoffmeister, 1977	Musaraña	Arizona Shrew	Chihuahua	P	Vulnerable
<i>Sorex monticolus</i> Merriam 1890	Musaraña	Dusky Shrew	Chihuahua	Pr	Lower risk (lc)
CHIROPTERA					
Noctilionidae					
<i>Noctilio leporinus</i> (Linnaeus, 1758)	Murciélago	Greater Bulldog bat	Sinaloa		Desconocida
Phyllostomidae					
<i>Leptonycteris nivalis</i> (Saussure, 1860)	Murciélago	Mexican Long-nose Bat	Chihuahua	A	Endangered
<i>Artibeus intermedius</i> Allen, 1897	Murciélago	Bat	Sinaloa		Lower risk (lc)
<i>Chiroderma salvini</i> Dobson, 1878	Murciélago	Salvin's Big-eyed Bat	Sinaloa		Lower risk (lc)
<i>Dermanura tolteca</i> (Saussure, 1860)	Murciélago	Bat	Sinaloa		Desconocida
<i>Sturnira ludovici</i> Anthony, 1924	Murciélago	Highland Yellow-Shouldered Bat	Sinaloa		Lower risk (lc)
Vespertilionidae					
<i>Idionycteris phyllotis</i> (G.M. Allen, 1916)	Murciélago	Allen's Big-eared Bat	Chihuahua		Lower risk (lc)
<i>Myotis evotis</i> (H. Allen, 1864)	Murciélago	Long-eared Myotis	BC	Pr	Lower risk (lc)
<i>Myotis occultus</i> Hollister, 1909	Murciélago	Arizona Myotis	Chihuahua		Not evaluated
<i>Myotis volans</i> (H. Allen, 1866)	Murciélago	Long-legged Myotis	Chihuahua, Sinaloa, BC, BCS		Lower risk (lc)
Molossidae					
<i>Molossus aztecus</i> Saussure, 1860	Murciélago	Bat	Sinaloa		Lower risk (nt)
<i>Molossus rufus</i> E. Geoffroy St.-Hilaire 1805	Murciélago	Bat	Sinaloa		Desconocida
CARNÍVORA					
Mustelidae					
<i>Mustela frenata</i> Lichtenstein, 1831	Comadreja	Long-tailed Weasel	Chihuahua, Sinaloa, BC		Lower risk (lc)
Felidae					
<i>Puma yagouaroundi</i> (Lacépède, 1809)	Jaguarundi, leoncillo	Jaguarundi	Sinaloa	A	Least concern

Tabla 3 (concluye). Especies de mamíferos con presencia posible en Sonora

Nombre científico	Nombre común	Nombre común en inglés	Distribución	NOM-059-ECOL-2001	UICN
RODENTIA					
Heteromyidae					
<i>Chaetodipus arenarius</i> (Merriam, 1894)	Ratón	Little Desert Pocket Mouse	BC, BCS	A	Lower risk (lc)
<i>Chaetodipus eremicus</i> (Mearns, 1898)	Ratón	Chihuahuan pocket Mouse	Chihuahua		Lower risk (lc)
<i>Chaetodipus formosus</i> (Merriam, 1889)	Ratón	Long-tailed Pocket Mouse	BC		Lower risk (lc)
<i>Chaetodipus rudinoris</i> (Elliot, 1903)	Ratón	Mouse	BC, BCS		Desconocida
<i>Chaetodipus spinatus</i> (Merriam, 1889)	Ratón	Long-tailed Pocket Mouse	BC, BCS	A	Lower risk (lc)
<i>Perognathus flavescens</i> Merriam, 1889	Ratón	Plains Pocket Mouse	Chihuahua		Lower risk (lc)
Muridae					
<i>Microtus mexicanus</i> (Saussure, 1861)	Meteorito	Mexican Vole	Chihuahua		Vulnerable
<i>Onychomys arenicola</i> Mearns, 1896	Ratón	Chihuahuan Grasshopper Mouse	Chihuahua		Lower risk (lc)
<i>Peromyscus difficilis</i> (Allen, 1891)	Ratón	Southern Rock Deermouse	Chihuahua		Lower risk (lc)
<i>Peromyscus fraterculus</i> (Miller, 1892)	Ratón	Northern Baja Deermouse	BC, BCS		Lower risk (lc)
<i>Peromyscus gnatus</i> Merriam, 1898	Ratón	Saxicoline Deermouse	Chihuahua		Lower risk (lc)
<i>Peromyscus melanotis</i> Allen and Chapman, 1897	Ratón	Black-eared Deermouse	Chihuahua		Lower risk (lc)
<i>Peromyscus nasutus</i> (J. A. Allen, 1891)	Ratón	New Mexico Mouse	Chihuahua		Lower risk (lc)
<i>Peromyscus polius</i> Osgood, 1904	Ratón	Chihuahuan Deermouse	Chihuahua		Vulnerable
<i>Reithrodontomys zacatecae</i> Merriam, 1901	Ratón	Zacatecas Harvest Mouse	Chihuahua		Lower risk (nt)
Sciuridae					
<i>Ammospermophilus leucurus</i> (Merriam, 1889)	Ardilla	White-tailed Antelope Squirrel	BC, BCS		Lower risk (lc)
<i>Spermophilus madrensis</i> (Merriam, 1901)	Ardilla	Sierra Madre Mantled Ground Squirrel	Chihuahua	Pr	Lower risk (lc)
<i>Sciurus aberti</i> Woodhouse, 1853	Ardilla	Abert's Squirrel	Chihuahua	Pr	Lower risk (lc)

amplia y están en todos los estados vecinos, por lo que también es muy probable su presencia en Sonora. Asimismo, la existencia de bosques de *Pinus*

ponderosa (= *P. arizonica*) en la Sierra Madre Occidental y en algunas otras serranías al norte del estado nos permite esperar la presencia de la ardilla

S. aberti, la cual se encuentra asociada exclusivamente a este tipo de bosques. En cuanto al jaguarundi (*P. yagouaroundi*), la mayoría de los ecólogos, biólogos y naturalistas que tenemos la fortuna de viajar por el estado hemos creído ver a este animal, aunque ninguno ha logrado fotografiarlo, capturarlo mediante fototrampeo o coleccionar el respectivo ejemplar, ya que muchas de estas observaciones han sido al anochecer y con el animal en movimiento. Los «avistamientos» no sólo han sido en las selvas secas y en el matorral subtropical, sino también en bosques de encinos y hasta en hábitats desérticos. Hasta el momento tampoco existen registros fósiles o arqueológicos que nos hagan suponer la presencia de esta especie en el estado en tiempos pasados (Brown y López, 1999; Grigione *et al.*, 2007).

Analizando la distribución de las especies de posible presencia en el estado (tabla 3), destaca la necesidad de explorar y coleccionar en la frontera entre Sonora y Chihuahua, particularmente en la región de Yécora y hacia el sur, y en la sierra San Luis en el noreste, donde esperaríamos encontrar hasta 19 especies de mamíferos, principalmente roedores. El registro reciente (Cabrera *et al.*, 2007) de una especie de *Peromyscus* (*P. schmidlyi*) en las cercanías de Yécora apoya esta suposición. En cambio, en la frontera con Sinaloa, esperaríamos encontrar nueve especies, principalmente murciélagos. El río Colorado ha sido una barrera importante en la distribución de las especies, sobre todo para las de tamaño pequeño. La reducción de manera importante del caudal del río probablemente permitirá el intercambio de especies de ratas y ratones (seis especies) entre Sonora y Baja California.

De colectarse en Sonora las especies listadas en la tabla 3 se añadirían cinco más en la categoría de

amenazadas, cuatro bajo protección especial y una en peligro de extinción. La detección de nuevas poblaciones para estas especies contribuiría de manera importante en los esfuerzos de conservación.

Distribución

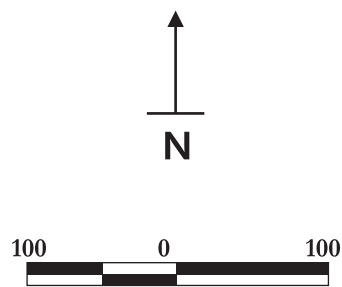
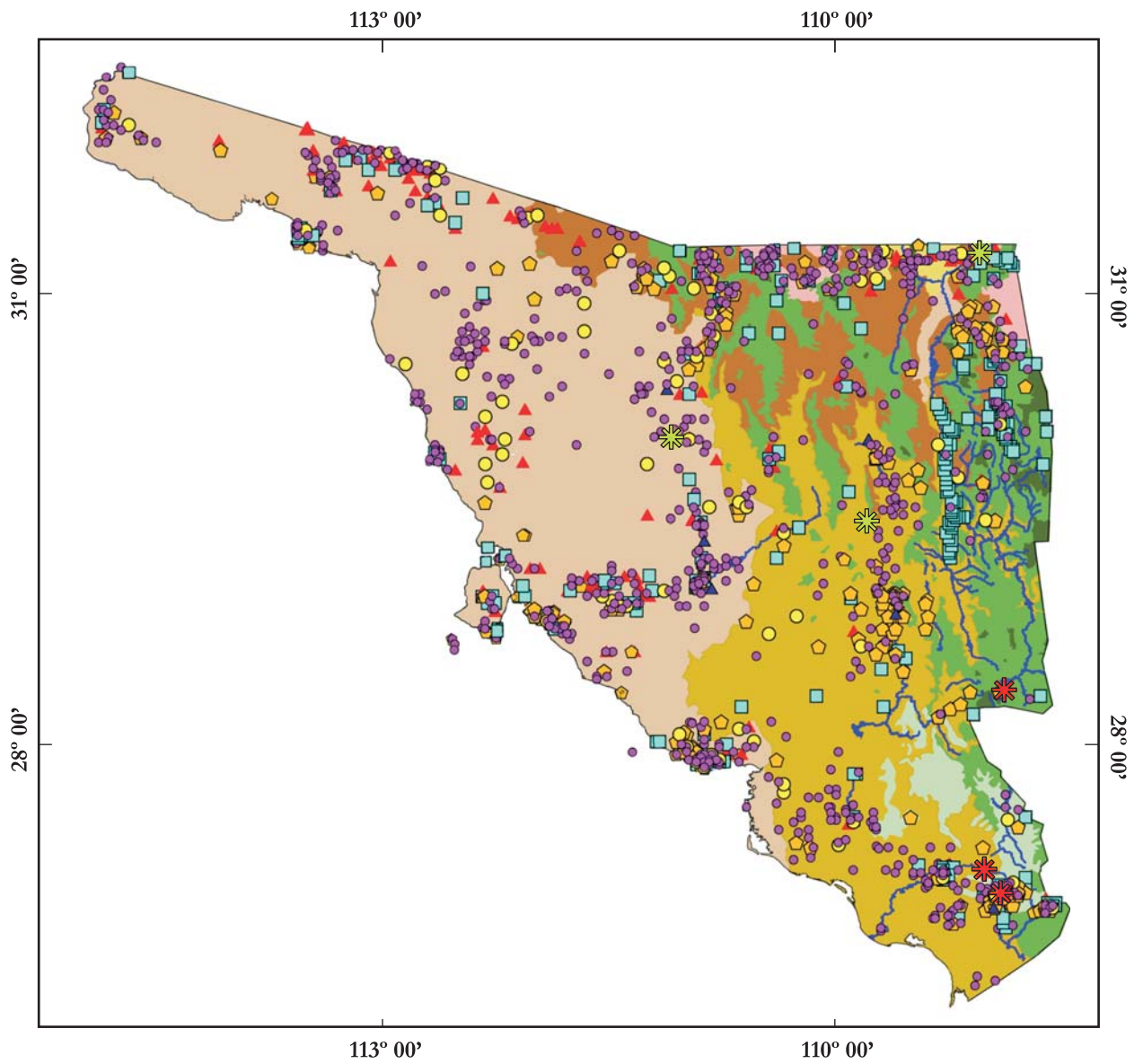
Si consideramos el total de taxones de mamíferos presentes en Sonora (158), encontramos que 35% muestran afinidad por la región neotropical, 34% por la región neártica y 31% por el Desierto Sonorense. Estas cifras incluyen a los taxones que están presentes en uno o más tipos de región. La mayoría (68%) de los taxones sólo están presentes en un tipo de región y, de estas especies, 27% se concentra en la neotropical. Sólo 17% está en las tres regiones y casi la mitad de ellas son murciélagos.

La distribución tan equivalente de las especies y de los órdenes en las regiones Neártica, Neotropical y Desierto Sonorense, viene a confirmar la transición que se presenta entre ellas en el estado (figura 1). Como se mencionó al principio de este capítulo, los ríos funcionan como corredores de fauna tropical hacia el norte, mientras que las estribaciones de la Sierra Madre también funcionan como corredores pero en ambos sentidos, lo que permite el intercambio de especies entre las regiones más templadas del norte con la región más tropical del sur de estado.

Especies introducidas

En la tabla 4 se presentan las especies introducidas a Sonora. Las consideradas como plaga y las domesticadas son las mismas que en otras regiones de México y el mundo. De las ocho domesticadas presentes en el estado, cinco (perros, gatos, vacas,

Figura 1 (página siguiente). Mapa de la distribución de los registros de cada orden de mamíferos silvestres que ocurren en el estado de Sonora, de acuerdo a las regiones biogeográficas Neártica (que comprende los biomas Bosque de Pino-Encino Madreño, Encinal Madreño y Pastizal de Llanura), Neotropical (que comprende los biomas Selva Baja Caducifolia y Matorral Espinoso) y el Desierto Sonorense (que comprende los biomas Pastizal Desértico, Matorral del Desierto Sonorense y, aunque se encuentra en una baja porción del estado, Matorral del Desierto Chihuahuense). Estos órdenes se encuentran bien distribuidos en el estado; los registros consisten en especímenes de colecciones científicas; registros directos como colecta, observación y fotografía de las especies y los registros indirectos como lo es la presencia de huellas, colectas de excretas, etcétera. Las zonas con menos registros corresponden a las áreas en donde menor esfuerzo de muestreo se ha realizado. Destaca que el esfuerzo realizado para la obtención de los registros de mamíferos ha sido a lo largo de las carreteras, alrededor de las ciudades y pueblos y a lo largo de los ríos.



Órdenes

- ▲ Artiodactyla
- Carnívora
- ◆ Chiroptera
- ▲ Didelphimorphia
- ✱ Insectívora
- Lagomorpha
- Rodentia
- ✱ Xenartra

Hidrografía

~ Ríos

Biomos

- Pastizal desértico
- Bosque de pino-encino madreño
- Selva baja caducifolia
- Encinal madreño
- Matorral del desierto chihuahuense
- Pastizal de llanura
- Matorral espinoso
- Matorral del desierto sonorense

Tabla 4. Especies de mamíferos exóticos introducidos a Sonora

Nombre científico	Nombre común
Plagas	
<i>Mus musculus</i>	Ratón
<i>Rattus rattus</i>	Rata
<i>Rattus norvegicus</i>	Rata
Domesticadas	
<i>Bos taurus</i> *	Vaca
<i>Canis familiaris</i> *	Perro
<i>Capra hircus</i>	Cabra
<i>Equus asinus</i> *	Burro
<i>Equus caballus</i> *	Caballo
<i>Felis catus</i> *	Gato
<i>Ovis aries</i>	Borrego
<i>Sus scrofa</i>	Cochi, puerco, cerdo
Cinegéticos y de ornato	
<i>Addax nasomaculatus</i>	Adax
<i>Alce americana</i>	Alce
<i>Ammotragus lervia</i>	Borrego de Berberia, berberisco
<i>Antilope cervicapra</i>	Antílope Black Buck
<i>Axis axis</i>	Venado Axis
<i>Bison bison</i>	Bisonte
<i>Boselaphus tragocamelus</i>	Antílope Nilgai, Antílope Nilgo
<i>Cervus canadensis</i>	Wapiti
<i>Cervus nippon</i>	Venado Sika
<i>Connochaetes gnou</i>	Búfalo cafre, ñu
<i>Dama dama</i>	Gamo Europeo
<i>Elaphus davidianus</i>	Ciervo del Padre David
<i>Equus burchelli</i>	Cebra
<i>Giraffa camelopardalis</i>	Jirafa
<i>Hemitragus jemlahicus</i>	Thar del Himalaya
<i>Hippotragus niger</i>	Antílope sable
<i>Kobus ellipsiprymnus</i>	Antílope acuático
<i>Lama glama huanachus</i>	Guanaco
<i>Oryx damma</i>	Antílope Oryx
<i>Ovis musimon</i>	Borrego Muflón
<i>Taurotragus oryx</i>	Antílope Eland, Eland del Cabo

Nota: las especies señaladas con (*) pueden tener poblaciones ferales (poblaciones que no están bajo el control humano).

caballos y burros) pueden formar poblaciones ferales, esto es, poblaciones que se establecen en el campo sin el control del hombre. Los perros y gatos se consideran como amenaza para los otros animales domésticos y para las personas, por lo que son sacrificados y cazados cuando se les detecta (R.

Castillo, obs. pers.). Los burros especialmente, pero también los caballos y las vacas salvajes, se consideran competidores del ganado por agua y comida, por lo que también son sacrificados cuando sus grupos empiezan a ser numerosos (R. Castillo, obs. pers.). De la misma manera, son cazados como alimento o son capturados para su domesticación (R. Castillo, obs. pers.).

Llama la atención la gran cantidad de especies exóticas introducidas con fines cinegéticos y de ornato (19). Algunas de éstas es posible que ya no existan en Sonora, toda vez que su desaparición no es reportada a la autoridad correspondiente por tener la posibilidad de adquirir o capturar a nuevos ejemplares y sustituir a los animales muertos sin dar aviso, lo que se considera una mala práctica de manejo.

Existen especies que se han convertido en exóticas a pesar de ser nativas en el estado. En esta situación están el berrendo (*A. americana*), el borrego cimarrón (*O. candensis*) y el buro o venado bura (*Odocoileus hemionus*). En el caso del berrendo, se están introduciendo otras subespecies diferentes a la subespecie local. Algo similar ocurre con el bisonte y el wapití. El buro y el borrego cimarrón se están introduciendo en sitios donde no están presentes de manera natural, como por ejemplo en la Isla del Tiburón, por lo que se convierten en especies exóticas para esa región.

AMENAZAS A LOS MAMÍFEROS TERRESTRES DE SONORA

Esta gran diversidad de mamíferos presenta varias amenazas que aparecen en diferentes partes del estado. Por ejemplo, hay una creciente amenaza hacia los carnívoros en general, ya que se cree que éstos se alimentan del ganado, sea vacuno, equino, caprino o aviar. En efecto, en algunas ocasiones los grandes gatos son causa de mortandad del ganado vacuno al alimentarse directamente de ellos, pero esto se debe principalmente al tipo de ganadería que existe en la mayoría del estado (extensiva), en donde se deja al ganado andar libremente en grandes áreas, en ocasiones por varios meses, hasta que

es reunido y arreado para ser transportado para su venta. Por lo general los grandes depredadores son perseguidos y muertos por «leonereros» o «tigreros», personas que se dedican a su cacería y exterminio, a los cuales les pagan los dueños de ranchos o ejidatarios. Este tipo de amenaza afecta principalmente a los jaguares o tigres, animales de por sí escasos, aunque también afecta al puma o león. Son varios los esfuerzos que se hacen a nivel estatal para remediar esta situación, desde el pago compensatorio por cabeza perdida hasta la compra de ranchos para hacer reservas especiales, como la del jaguar en la confluencia de los ríos Bavispe y Aros (rancho Los Pavos, propiedad de la asociación civil Naturalia).

Por otra parte, la apertura de grandes zonas agrícolas de riego en las décadas de los años cuarenta seguramente tuvo efecto en la distribución de las especies de mamíferos, algunas de las cuales fueron desplazadas hacia otras zonas al abrir grandes extensiones de vegetación típica del Desierto Sonorense, mientras que algunas otras se vieron beneficiadas en forma oportunista con las prácticas de monocultivo y la intensidad de cosecha (en zonas en que se logran dos cosechas al año). Estas zonas agrícolas no sólo han modificado el ambiente biofísico de los mamíferos, sino que también son áreas en donde existe la bioacumulación de toxoides utilizados para combatir las plagas, con los cuales es muy probable que estos tengan una relación negativa.

De igual manera, la transformación de grandes áreas de vegetación nativa, sobre todo de desierto y matorral, en praderas de zacate buffel (*Pennisetum ciliare*) debe haber modificado la distribución y abundancia de varias especies de mamíferos, pero esta afectación aún no ha sido estudiada. Este impacto debe darse sobre todo en los mamíferos no voladores de tamaño pequeño, que no pueden atravesar grandes distancias y para los cuales una pradera de sólo unas cuantas hectáreas constituye una barrera infranqueable. También la modificación de la estructura de la vegetación y su sustitución por prácticamente un monocultivo debe afectar en forma negativa a las especies que se alimentan princi-

palmente de insectos, semillas y néctar.

Aunado a las anteriores amenazas, la apertura de grandes áreas de zona costera y desierto para el cultivo de camarón ha afectado miles de hectáreas de vegetación nativa, tanto de desierto sonorense como de dunas costeras y manglar, lo que indudablemente ha afectado especies de roedores, ardillas, lagomorfos y carnívoros que se distribuyen en estas zonas costeras.

La cacería furtiva, es decir, la cacería que se hace sin permiso de la autoridad y sin respeto a las vedas, está muy extendida en el estado. Los cazadores de este tipo van principalmente por venado cola blanca (*O. virginianus*), buro o venado bura (*O. hemionus*) y cochi jabalí (*Tayassu tajacu*), ya que estas especies han sido parte de la dieta tradicional. En algunos lugares estas especies han sido extirpadas completamente por el mayor número de personas que tiene acceso a armas para cazar, aunado al hecho de que la cacería es un deporte tradicional del estado que usualmente se realiza con rifles calibre 22. También existe la cacería legal, la cual es un gran negocio en el estado y se realiza en ranchos cinegéticos adecuados para esta actividad, pero estos tienen serias faltas de rigor científico en los requerimientos de planeación y monitoreo del manejo de las especies objeto de la cacería, lo cual ha conducido a consecuencias involuntarias pero indeseables para la fauna silvestre en general (Sisk, *et al.*, 2007).

Otra amenaza más es la cantidad de mamíferos pequeños y medianos que mueren diariamente en la carretera 15, la principal vía de comunicación del estado que lo atraviesa de sur a norte. Todas las noches hay una gran mortandad de mamíferos que son atropellados por el intenso tráfico de esta carretera, ya que no hay infraestructura para solventar estos problemas; específicamente no existen «pasos de fauna» o puentes que permitan a los mamíferos cruzar de un lado a otro. Así, hay ocasiones en que uno puede ver una gran cantidad de ratas y ratones atropellados, al igual que liebres, conejos, juancitos, tacuachis y zorrillos, algún gato montés o coyote y, en menor grado, zorras.

La contaminación de los torrentes por aguas

urbanas, suburbanas y de desperdicio de granjas y áreas de cultivo también son factores de amenaza para los mamíferos terrestres, debido a la gran cantidad de contaminación que se vierte en las aguas residuales, las cuales, salvo en contadas ocasiones, reciben un mínimo tratamiento. Está aún pendiente evaluar la existencia de este tipo de situaciones dada la intensiva minería y agricultura que se practica en el estado y a que las fuentes de agua para las zonas urbanas son por lo general freáticas o de pozos aledaños a los ríos.

PERSPECTIVAS DE CONSERVACIÓN

La conservación de los mamíferos de Sonora es una tarea compleja, por lo que no es sencilla la implementación de una estrategia general. En principio, se requiere de información cuantitativa y estacional de las poblaciones para plantear estrategias realmente efectivas de conservación. Actualmente se están llevando a cabo diversos estudios en distintas zonas que están acrecentando el conocimiento de la biología y la ecología de las especies, con los que se busca subsanar los grandes huecos de información; por lo menos para las especies prioritarias por estar amenazadas o en peligro de extinción, como es el caso del berrendo, el borrego cimarrón, el jaguar, el ocelote, el tigrillo, el castor, la nutria de río y los perritos de la pradera, entre otros.

Las áreas naturales protegidas son una buena estrategia para la conservación de las especies. En Sonora existen tres reservas continentales federales: la Reserva de la Biosfera «El Pinacate y Gran Desierto de Altar», el Área de Protección de Flora y Fauna «Ajos-Bavispe» y el Área de Protección de Flora y Fauna «Álamos-Río Cachujaqui», las cuales cubren 5.4% de la superficie del estado. Hay otros procesos cuyos estudios previos justificativos se encuentran en consulta pública como la sierra El Aguaje en el municipio de Guaymas (Gallo-Reynoso y González-Martínez, 2003). También existe una serie de propiedades privadas que están dedicadas total o parcialmente a la conservación de los recursos naturales, como los ranchos Los Pavos y

Los Fresnos, propiedad de Naturalia, así como otras propiedades particulares cuyos dueños se han sumado al estudio y protección de la flora y fauna sonorenses (*v.g.*, Cuenca Los Ojos, en la región fronteriza cerca de Agua Prieta, y rancho El Aribabi, cerca de Ímuris, en la región central del estado, y algunos otros en el municipio de Álamos). Adicionalmente, se están reconociendo y proponiendo corredores biológicos para conectar todas estas áreas y asegurar la viabilidad de las poblaciones no sólo de mamíferos sino de la fauna en general de Sonora.

Para ello se requiere realizar el análisis de la distribución de las especies de animales en general, no sólo para la protección de aquellas enlistadas en la NOM-059-ECOL-2001, con el fin de asegurar la representatividad de toda la fauna en esta red de reservas oficiales, privadas y de corredores biológicos. También se requiere realizar un registro de todas las propiedades particulares donde se llevan a cabo labores de conservación, lo que nos permitiría ubicarlos e integrarlos a los esfuerzos globales de conservación. Actualmente esta información fluye de manera informal entre los investigadores.

Cabe destacar que en Sonora existen vastas extensiones de territorio con muy poca presencia humana, sobre todo en las regiones serranas, lo que favorece a las poblaciones de la fauna en general en esas regiones, al no existir prácticamente presiones antropogénicas sobre ellas.

Otra estrategia de conservación factible se relaciona con el Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA o SUMA). Si bien la naturaleza y los objetivos de las UMA varían ampliamente entre ellas, comparten el objetivo común de la conservación a través del manejo y la explotación activa y sustentable de la vida silvestre. Con una adecuada implementación, las UMA pueden representar un nuevo paradigma de conservación que tiene el enorme potencial de incrementar los beneficios directos que la biodiversidad provee a los propietarios de la tierra, además de que crea, a la vez, nuevos incentivos (económicos y otros) para los esfuerzos de conservación (Sisk, *et al.*, 2007).

Finalmente, pero no menos importante, es ne-

cesario también educar y concientizar a la población en general sobre los mamíferos. Es preocupante el desconocimiento y los conceptos erróneos que existen sobre los mamíferos y la fauna en general, tanto en las ciudades como en pueblos y rancherías, independientemente del nivel de escolaridad y económico que tengan las personas e, incluso, entre los diferentes niveles de gobierno encargados de la protección de la fauna. No se puede pedir a las personas que cuiden lo que no conocen ni que lo hagan cuando lo que conocen no es correcto o cuando no lo sienten como suyo, como parte de su patrimonio.

Al ser Sonora el segundo estado del país en área geográfica, tiene también un gran compromiso con la conservación de las especies de mamíferos. La representatividad en el estado de un buen número de especies de mamíferos, la diversa problemática que éstas enfrentan y la vasta y compleja geografía sonorenses, en vez de ser un problema para el estudio y para la conservación de la mastofauna, constituye un desafío estimulante, no sólo para los investigadores, sino para la población en general. Este capítulo pretende acrecentar ese estímulo.

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ-CASTAÑEDA, S.T. y J.L. PATTON. 1999. Mamíferos del Noroeste de México. Vol I. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur.
- ÁLVAREZ-CASTAÑEDA, S.T. y J.L. PATTON. 2000. Mamíferos del Noroeste de México. Vol II. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur.
- BROWN, D.E. y C.A. LÓPEZ. 1999. Jaguarundi (*Herpailurus yaguarondi* Geoffroy 1803) Not in Arizona or Sonora. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*. 32: 155-157.
- BURT, W.H. 1938. Faunal Relationships and Geographic Distribution of Mammals in Sonora, México. Miscellaneous Publications Museum Zoology, University of Michigan.
- CABRERA, H., S.T. ÁLVAREZ-CASTAÑEDA, N. GONZÁLEZ-RUIZ y J.P. GALLO REYNOSO. 2007. Distribution and Natural History of Schmidly's Deermouse (*Peromyscus schmidlyi*). *The Southwestern Naturalist* 52: 620-623.
- CAIRE, W. 1978. The Distribution and Zoogeography of the Mammals of Sonora, México. Tesis de doctorado. University of New México.
- CAIRE W. 1997. Annotated Checklist of the Recent Land Mammals of Sonora, Mexico. En: T.L. Yates, W.L. Gannon y D.E. Wilson, eds. *Life among the Muses: Papers in Honor of James S. Findley*. Special Publication of the Museum of Southwestern Biology, núm. 3. Albuquerque, Nuevo México, pp. 69-80.
- CASTILLO GÁMEZ, R.A. 2005. Los olvidados perritos de la pradera de Sonora. *Especies* 14: 22-27.
- CASTILLO-GÁMEZ, R.A., R. ARENAS-WONG, L. CASTILLO-QUIJADA, V. CORONADO-PERAZA, A. ENRÍQUEZ-MUNGUÍA, M. FEDERICO-ORTEGA, A. GARCÍA-URRUTIA, A. LOZANO-GÁMEZ, R. MÉNDEZ-ESTRELLA, L. OCHOA-FIGUEROA, J. ROMO-LEÓN, I. PARRA-SALAZAR y G. KRUSE-LLERGO. 2005. Status of Black-Tailed Prairie Dog (*Cynomys ludovicianus*) in Sonora, Mexico. En: G.J. Gottfried, B.S. Gebow, L.G. Eske y C.B. Edminster (comps.) 2005. *Connecting Mountain Islands and Desert Seas: Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago II*, 11-15 de mayo de 2004, Tucson, Arizona. Proceedings RMRS-P-36, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp. 511-514.
- CEBALLOS, G. y G. OLIVA, eds. 2005. Los mamíferos silvestres de México. Conabio-Fondo de Cultura Económica, México, 988 p.
- FINDLEY, J.S., A.H. HARRIS, D.E. WILSON y C. JONES. 1975. *Mammals of New Mexico*. University of New Mexico Press, Albuquerque, 360 pp.
- GALLO-REYNOSO, J.P. 1996. Distribution of the Neotropical River Otters (*Lutra longicaudis annectens* Major, 1897) in the Rio Yaqui, Sonora, Mexico. *IUCN Otter Specialists Group Bulletin*. 13: 27-31.
- GALLO-REYNOSO, J.P. 1997. Situación y distribución de las nutrias en México, con énfasis en *Lontra longicaudis annectens* Major, 1897. *Revista Mexicana de Mastozoología*. 2: 10-32.
- GALLO-REYNOSO J.P., G. SUÁREZ-GRACIDA, H. CABRERA-SANTIAGO, E. CORIA-GALINDO, J. EGIDO-VILLAREAL y L.C. ORTIZ. 2002. Status of Beavers (*Castor canadensis frondator*) in Rio Bavispe, Sonora, Mexico. *Southwestern Naturalist* 47: 501-504.
- GALLO REYNOSO, J.P., T.R. VAN DEVENDER, A.L. REINA-GUERRERO, J. EGIDO-VILLAREAL y E. PFEILER. 2008. Probable Occurrence of a Brown Bear (*Ursus arctos*)

- in Sonora, Mexico in 1976. *Southwestern Naturalist* 53(2): 256-260.
- GALLO-REYNOSO, J. P. y A. GONZÁLEZ MARTÍNEZ. 2003. «Estudio previo justificativo para proponer el establecimiento de la región «Sierra del Aguaje, Bahía de San Francisco e Isla San Pedro Nolasco y sus aguas aledañas» como una nueva Área Natural Protegida». CIAD/Grupo de Estudios Ambientales, 227pp.
- GALLO-REYNOSO, J.P. y C. NAVARRO-SERMENT. 2002. Range Extension of Margay in Northwestern Mexico. *The Southwestern Naturalist* 47: 635-636.
- GASCA-PINEDA, J., M. A. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ y L.E. EGUIARTE-FRUNS. 2008 Genética de poblaciones y evolución molecular de *Ovis canadensis* en Sonora y Baja California Sur. Congreso Mexicano de Ecología 2008. 16-21 de noviembre. Mérida, Yucatán.
- GRIGIONE, M., A. SCOVILLE, G. SCOVILLE y K. CROOKS. 2007. Neotropical cats in Southeast Arizona and Surrounding Areas: Past and Present Status of Jaguars, Ocelots and Jaguarundis. *Mastozoología Neotropical* 14: 189-199.
- HALL, F.S. 1932. A Historical Resume of Exploration and Survey: Mammal Types and Their Collectors in the State of Washington. *The Murrelet* 13: 63-91.
- HALL, E.R. 1981. Mammals of North America. Vols. I y II. John Wiley and Sons, Nueva York.
- HOFFMEISTER, D.F. 1986. The Mammals of Arizona. University of Arizona Press, Tucson.
- LEE, R. y E. MELLINK. 1995. Status of Bighorn Sheep in México. *Desert Bighorn Transactions* 39: 35-39.
- LEE, R. y E. LÓPEZ. 1996. Resultados del censo de borrego cimarrón en Sonora. Reporte no publicado del Instituto del Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora (IMADES).
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, C.A., D.E. BROWN y J.P. GALLO-REYNOSO. 2003. The Ocelot *Leopardus pardalis* in Northwestern Mexico: Ecology, Distribution and Conservation Status. *Oryx* 37: 358-364.
- MELÉNDEZ, C., R. PAREDES y M. VALDÉS. 2006. Poblaciones de berrendo en Sonora. En: E. Peters-Recagno, E., E. de la Cruz-Robles y E. Pallares-Cadena. *El berrendo en México. Acciones de Conservación*. Instituto Nacional de Ecología, México, 128 pp.
- INE. 2000. Proyecto para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable del Borrego Cimarrón (*Ovis canadensis*) en México. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Instituto Nacional de Ecología, México, 106 pp.
- SEMARNAT. 2002. 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*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2001, 6 de marzo, pp. 1-56.
- SISK, T.D., A.E. CASTELLANOS y G.W. KOCH. 2007. Ecological Impacts of Wildlife Conservation Units Policy in Mexico. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 209-212.
- IUCN. 2007. Red List of Threatened Species. Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (www.iucnredlist.org) consultada en septiembre de 2007.
- WILSON, D. y S. RUFF. 1999. *The Smithsonian Book of North American Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

RESUMEN

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 icliosaurio 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	

AUTORES

Arturo Báez

School of Agriculture, University of Arizona
Tucson, Arizona 85721, USA
abaez@ag.arizona.edu

Richard A. Bailowitz

5444 No. Indian Trail, Tucson, Arizona 85750, USA
raberg2@q.com

Robert L. Bezy

Natural History Museum of Los Angeles County
900 Exposition Boulevard, Los Angeles, California 90007, USA.
bezy@comcast.net

Luis C. Bravo

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Apartado Postal 1735, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
lcbravop@prodigy.net.mx

Luis Brito Castillo

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad Sonora
Km 2.35 carretera al Tular s/n
Estero de Bacochibampo, C.P. 85454, Guaymas, Sonora, México,
lbrito04@cibnor.mx

Alberto Búrquez Montijo

Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 1354, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
montijo@unam.mx

William Caire

Department of Biology, University of Central Oklahoma
Howell Hall, Room 200H, Edmond, Oklahoma 73034, USA
WCaire@ucok.edu

Alejandro E. Castellanos Villegas

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Universidad de Sonora
Apartado Postal 54, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
acastell@guaymas.uson.mx

Reyna A. Castillo Gámez

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Universidad de Sonora
Apartado Postal 1819, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
racastil@guayacan.uson.mx

Sergio J. Castrezana

Division of Biological Sciences, University of California San Diego
Drosophila Species Stock Center
9500 Gilman Drive 0116
La Jolla, California 92093-0116, USA
scastrezana@ucsd.edu

Santiago Chacón

Instituto de Ecología, A.C.
Apartado Postal 63, C.P. 91000, Xalapa, Veracruz, México
santiago.chacon@inecol.edu.mx

Martha L. Coronado Andrade

Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora
Apartado Postal 11, Admón. 11, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
marthalizettc@yahoo.com.mx

Michael A. Crimmins

Department of Soil, Water, and Environmental Science
University of Arizona
P. O. Box 210038, Tucson, Arizona, 85721-0038, USA
crimmins@u.arizona.edu

Claudio Delgadillo Moya

Departamento de Botánica, Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-233, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, México, D.F.
moya@servidor.unam.mx

Sara C. Díaz C.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Unidad La Paz
Mar Bermejo No 195, Col. Playa Palo de Santa Rita
C.P. 23090, La Paz, Baja California Sur, México
sdiaz04@cibnor.mx

Janitzio Egido Villarreal
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Unidad Guaymas
Carretera a Varadero Nacional Km 6.6, Col. Las Playitas
C.P. 85480, Guaymas, Sonora, México
egido@ciad.mx

Erik F. Enderson
Drylands Institute
2509 North Campbell Ave., Tucson, Arizona 85719, USA
erikenderson@msn.com

Martín Esqueda Valle
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Apartado Postal 1735, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
esqueda@ciad.mx

Richard S. Felger
a) Herbarium, University of Arizona
P.O. Box 210036, Herring Hall, Tucson, Arizona 85721, USA
b) San Diego Natural History Museum
San Diego, California 92112-1390, USA
rfelger@ag.arizona.edu

Mark Fishbein
Department of Botany, Oklahoma State University
104 Life Sciences East, Stillwater, Oklahoma 74074, USA
mark.fishbein@okstate.edu

Aaron D. Flesch
Division of Biological Sciences, University of Montana
32 Campus Drive, Missoula, MT 59812, USA
aaron.flesch@umontana.edu

Juan Pablo Gallo Reynoso
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Unidad Guaymas
Carretera a Varadero Nacional Km 6.6, Col. Las Playitas
C.P. 85480, Guaymas, Sonora, México
jpgallo@ciad.mx

Luis García Prieto

Laboratorio de Helmintología, Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-153, D.F., C.P. 04510, México
gprieto@ibiologia.unam.mx

Lance Gilbertson

Natural History Museum of Los Angeles County
900 Exposition Boulevard, Los Angeles, California 90007, USA
lngilbert@gmail.com

Robert L. Gilbertson

Department of Plant Sciences, University of Arizona
Herbarium, P.O. Box 210036
Tucson, Arizona 85721-0036

Eduardo Gómez Limón

Monte Sonorense
Ángela Peralta No. 61, Col. Periodista,
C.P. 83156, Hermosillo, Sonora, México
edugomez@hmo.megared.net.mx

Carlos M. González León

Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste
Universidad Nacional Autónoma de México
Bvtr. Colosio y Madrid s/n, Campus Universidad de Sonora
C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
cmgleon@unam.mx

Aldo Gutiérrez

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Apartado Postal 1735, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
aldohiram@gmail.com

Dean A. Hendrickson

Texas Memorial Museum, Texas Natural History Collection
University of Texas
10100 Burnet Rd., Austin, Texas 78758-4445, USA
deanhend@mail.utexas.edu

María de los Ángeles Herrera-Campos

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-233, C.P. 04510, México, D.F.
mahc@ibunam2.ibiologia.unam.mx

Teófilo Herrera

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-233, C.P. 04510, México, D.F.
therrera@ibiologia.unam.mx

Osvel Hinojosa Huerta

Pronatura Noroeste
Avenida Jalisco 903
C.P. 83440, San Luis Río Colorado, Sonora, México
osvelhh@gmail.com

George W. Koch

Department of Biological Sciences, Northern Arizona University
Box 5640, Flagstaff, Arizona 86011, USA
George.Koch@nau.edu

David Krueper

U.S. Fish and Wildlife Service, Region 2
P.O. Box 1306, Albuquerque, New Mexico, USA
dave_krueper@fws.gov

Marcos Lizárraga

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Anillo Envoltente Pronaf y Estocolmo s/n
C.P. 32300, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
mlizarra@uacj.mx

José M. Llano Sotelo

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Universidad de Sonora
Apartado Postal 1819, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
llanojm@correom.uson.mx

Deladier A. López Robles

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Apartado Postal 1735, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
deladier.ciad@gmail.com

Therese A. Markow

Section of Ecology, Behavior and Evolution, University of California San Diego
9500 Gilman Drive, Muir Biology Building 2215
La Jolla, California 92093-0116, USA
tmarkow@ucsd.edu

Angelina Martínez Yrizar

Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 1354, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
angelina@unam.mx

Jim I. Mead

Department of Geosciences, East Tennessee State University
Box 70357, Johnson City, Tennessee 37614, USA
mead@mail.etsu.edu

Romeo Méndez Estrella

Comisión Nacional Forestal
Avenida Reforma y Calle L
C.P. 21100, Mexicali, Baja California, México
mendzromeo@hotmail.com

Berenit Mendoza Garfias

Laboratorio de Helmintología, Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-153, C.P. 04510, México, D.F.
berenit@ibiologia.unam.mx

Francisco E. Molina Freaner

Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 1354, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
freaner@unam.mx

Gabriel Moreno

Facultad de Biología, Universidad de Alcalá de Henares
Departamento de Biología Vegetal
Madrid, España 28871
gabriel.moreno@uah.es

Edna Naranjo García

Departamento de Zoología, Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-153, C.P. 04510, México, D.F.
naranjo@servidor.unam.mx

Thomas H. Nash III

School of Life Sciences, Arizona State University
Box 874501, Tempe, Arizona 85287-4501, USA.
tom.nash@asu.edu

John Palting

7339 No. Yucca Via, Tucson, Arizona 85704, USA
jpalting@comcast.net

Gerardo Pérez Ponce de León

Laboratorio de Helmintología, Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-153, C.P. 04510, México, D.F.
ppdleon@servidor.unam.mx

Evangelina Pérez Silva

Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-233, C.P. 04510, México, D.F.
psilva@ibiologia.unam.mx

Edward J. Pfeiler

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Unidad Guaymas
Carretera a Varadero Nacional km 6.6, Colonia Las Playitas,
C.P. 85480, Guaymas, Sonora, México
pfeiler@ciad.mx

Adrián Quijada Mascareñas

School of Natural Resources and the Environment, University of Arizona
Tucson, Arizona 85721, USA
aquijsada@email.arizona.edu

Ana Lilia Reina Guerrero

Herbarium, Department of Plant Sciences, University of Arizona
303 Forbes Building, P.O. Box 210036
Tucson, Arizona 85721-0036, USA
yecora4@comcast.net

Julio C. Rodríguez

Departamento de Agricultura y Ganadería
Universidad de Sonora
C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
jcrodr2001@yahoo.com

Octavio R. Rojas Soto

Instituto de Ecología, A.C.
Apartado Postal 63, Km. 2.5 Carretera Antigua a Coatepec No. 351
El Haya, C.P. 91070, Xalapa, Veracruz, México
octavio.rojas@inecol.edu.mx

José Raúl Romo León

School of Natural Resources, University of Arizona
1955 E. 6th. Street, Tucson, Arizona 85719, USA
joser2@email.arizona.edu

Philip C. Rosen

School of Natural Resources, University of Arizona
Tucson, Arizona 85721, USA.
pcrosen@email.arizona.edu

Jesús Sánchez Escalante

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Universidad de Sonora
Apartado Postal 1819, C. P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
jsanchez@guayacan.uson.mx

Thomas D. Sisk

Center for Sustainable Environments, Northern Arizona University
P.O. Box 5694, Flagstaff, Arizona 86011, USA
Thomas.Sisk@nau.edu

Sandra L. Swift

Vertebrate Paleontology Laboratory, Department of Geosciences,
East Tennessee State University, 37614, USA
Sandra.Swiftone@yahoo.com

Dale S. Turner

The Nature Conservancy
Tucson, Arizona 85719, USA
dturner@tnc.org

Ricardo Valenzuela

Laboratorio de Micología, Departamento de Botánica,
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional
Apartado Postal 256, Centro Operativo Naranja
Col. Santa María la Rivera, C.P. 02600, México, D.F.
rvalenzg@ipn.mx

R. Wayne Van Devender

Department of Biology, Appalachian State University
Boone, North Carolina 28608, USA
vandevenderr@appstate.edu

Thomas R. Van Devender

a) Sky Island Alliance
 738 N. 5th. Ave., Suite 201, Tucson, Arizona 85705, USA
 Vandevender@skyislandalliance.org

b) Herbarium, Department of Plant Sciences, University of Arizona
 303 Forbes Building, P.O. Box 210036
 Tucson, Arizona 85721-0036, USA
 yecora4@comcast.net

Alejandro Varela Romero

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
 Universidad de Sonora
 Apartado Postal 1819, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
 avarela@guayacan.uson.mx

José Fernando Villaseñor Gómez

Laboratorio de Ornitología, Facultad de Biología
 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
 C. P. 58000, Morelia, Michoacán, México
 fvgomez@umich.mx

Richard S. White

International Wildlife Museum
 4800 W Gates Pass Road, Tucson, Arizona 85745, USA
 rwhite@thewildlifemuseum.org

Gertrudis Yanes Arvayo

División de Ciencias Biológicas, Universidad de la Sierra
 Carretera Moctezuma-Cumpas Km. 2.5
 C.P. 84561, Moctezuma, Sonora, México
 gyanesa@yahoo.com

George Yatskievych

Missouri Botanical Garden
 P.O. Box 299, St. Louis, Missouri 63110, USA
 george.yatskievych@mobot.org

Gloria Yépiz Plascencia

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
 Apartado Postal 1735, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
 gyepiz@ciad.mx

REVISORES DE CAPÍTULOS

Dr. Sergio Ticul Álvarez-Castañeda (Cibnor, La Paz, B.C.S.). **Dr. Brad Boyle** (University of Arizona, Tucson, Arizona). **Dra. Tereza Cavazos-Pérez** (CICESE, Ensenada, B.C.). **Dr. César A. Domínguez** (Instituto de Ecología, UNAM, México, D.F.). **Dr. Luis E. Eguiarte** (Instituto de Ecología, UNAM, México, D.F.). **Dr. Luis M. Farfán-Molina** (CICESE, La Paz, B.C.S.). **Dr. Luca Ferrari-Pedraglio** (Centro de Geociencias, UNAM, Juriquilla, Querétaro). **Dr. Ismael Ferrusquía-Villafranca** (Instituto de Geología, UNAM, México, D.F.). **Dr. Francisco García de León** (Cibnor, La Paz, B.C.S.). **Dr. Edward E. Gilbert** (Global Institute of Sustainability, Arizona State University, Tempe, Arizona). **Dr. Stephen Goldberg** (Whittier College, Whittier, California). **Dra. M. Socorro González-Elizondo** (Instituto Politécnico Nacional, Durango, Durango). **Dra. María Luisa Jiménez-Jiménez** (Cibnor, La Paz, B.C.S.). **Dra. Virginia León Rêgagnon** (Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.). **Dra. Emily J. Lott** (University of Texas, Austin). **Dr. Eric Mellink** (CICESE, Ensenada, B.C.). **Dr. Dante Morán-Zenteno** (Instituto de Geología, UNAM, México, D.F.). **Dr. Eduardo Palacios Castro** (CICESE, La Paz, B.C.S.). **Dr. Daniel Piñero-Dalmau** (Instituto de Ecología, UNAM, México, D.F.). **Dr. Gorgonio Ruiz-Campos** (Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C.). **Benjamin T. Wilder** (University of Arizona, Tucson, Arizona). **Michael F. Wilson** (Drylands Institute, Tucson, Arizona).

GALERÍA FOTOGRAFICA

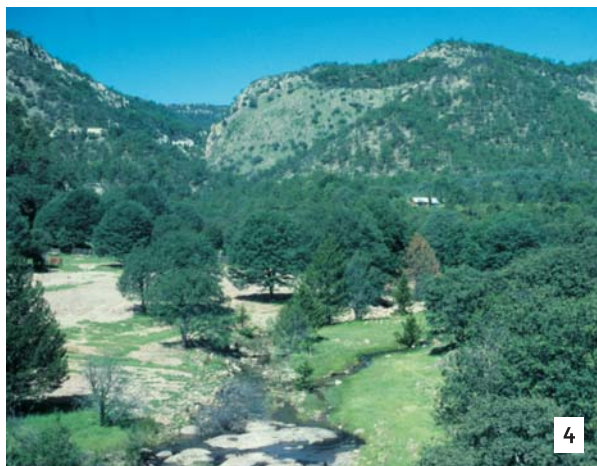
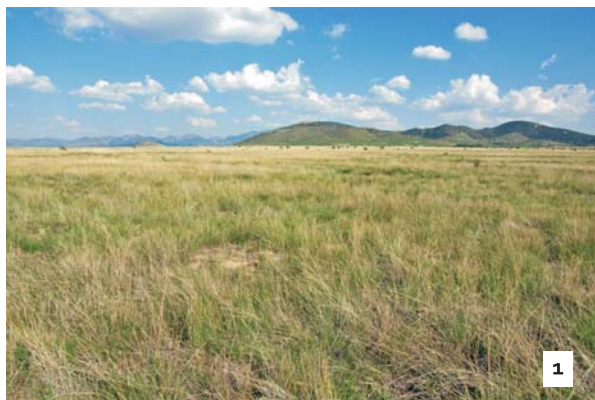
El nombre del autor de cada fotografía se consigna entre paréntesis
al final de la descripción correspondiente

Lámina 1. Hábitats terrestres 1
(Desierto Sonorense y Desierto Chihuahuense)



1. Matorral desértico sonorense de la costa central del Golfo (Erik F. Enderson) **2.** Matorral desértico sonorense sobre sustrato volcánico en la región del Pinacate (Dale S. Turner) **3.** Dunas de arena de la región del Pinacate (Bradley Boyle) **4.** Flores de plantas anuales de dunas de la región del Pinacate (Bradley Boyle) **5.** Matorral desértico chihuahuense de la región de Agua Prieta (Thomas R. Van Devender) **6.** Matorral desértico chihuahuense en el cerro El Caloso de la región de Agua Prieta (Thomas R. Van Devender).

Lámina 2. Hábitats terrestres 2
(Pastizales y Bosques de Encino y Juniperus)



1. Pastizal de El Valle de la región noreste del estado (Erik F. Enderson) 2. Pastizal de la región de Santa Cruz (Thomas R. Van Devender) 3. Pastizal del rancho Los Fresnos (Bradley Boyle) 4. Bosque de encino de la región de Los Pilares cerca de Yécora (Thomas R. Van Devender) 5. Bosque de encino de la sierra El Chuchupate (Erik F. Enderson) 6. Bosque de *Juniperus coahuilensis* en el Cajón Bonito, Rancho Los Ojos (Thomas R. Van Devender).

Lámina 3. Hábitats terrestres 3
(Bosque de Pino-Encino y Bosque Ripario)



1



2



3



4



5



6

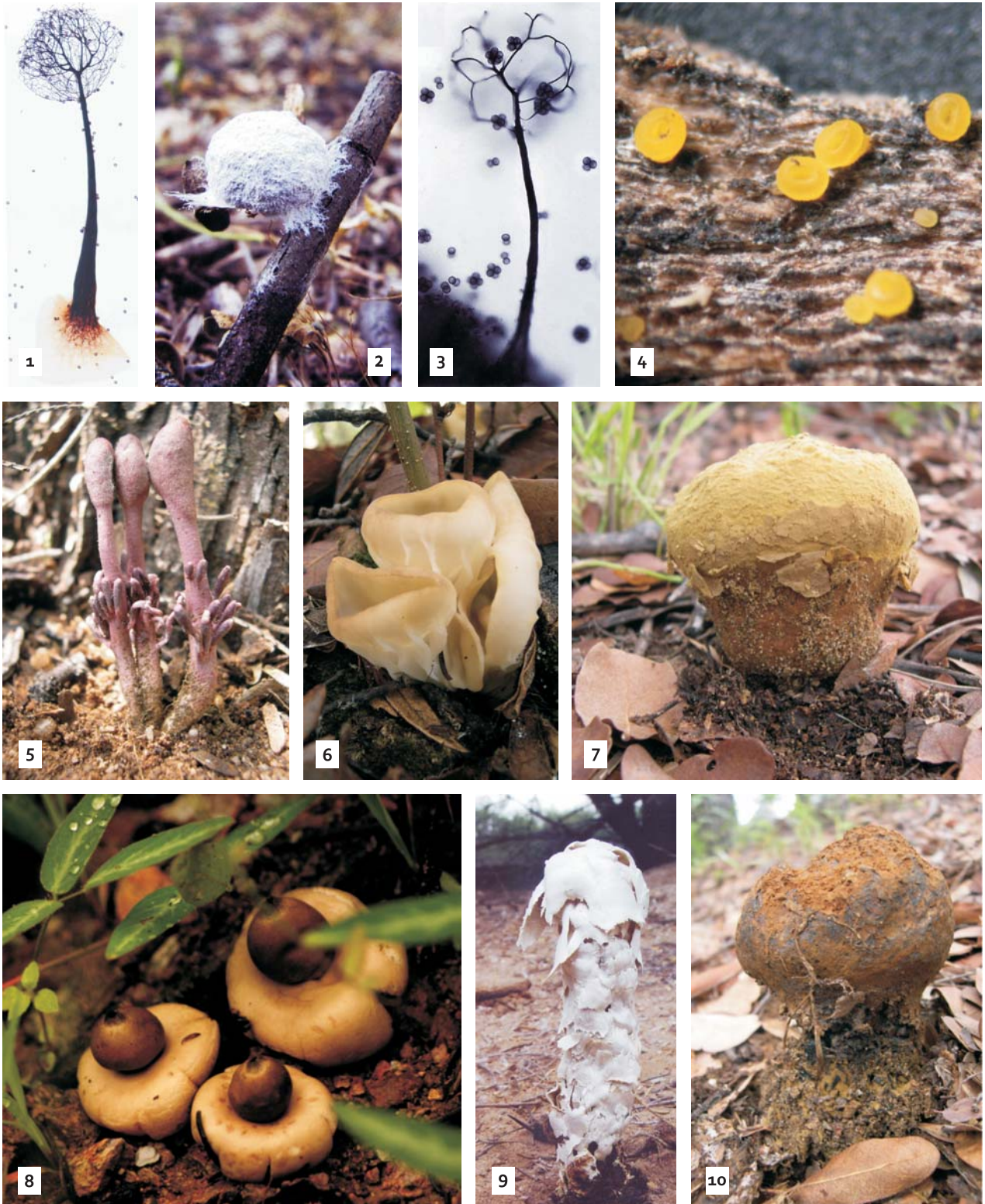
1. Bosque de pino-encino del rancho El Horquetudo de Yécora (Erik F. Enderson) 2. Bosque de *Pinus yecorensis* de la sierra El Chuchupate (Erik F. Enderson) 3. Bosque de pino-encino de la Sierra Madre Occidental al oeste de Yécora (James C. Rorabaugh) 4. Bosque ripario de sauz del arroyo La Brisca (Thomas R. Van Devender) 5. Bosque ripario de álamo y sauz de la región de Tututama (Thomas R. Van Devender) 6. Bosque ripario de álamo del Cajón Bonito, Rancho Los Ojos (Thomas R. Van Devender).

Lámina 4. Hábitats terrestres 4
(Matorral Espinoso y Bosques Tropicales de Sonora)



1. Matorral espinoso de piedemonte de la región de Sahuaripa (Thomas R. Van Devender) 2. Matorral espinoso de piedemonte de la región del Novillo (James C. Rorabaugh) 3. Matorral espinoso costero de la región de Camahuira (Thomas R. Van Devender) 4. Bosque tropical caducifolio de la región de Álamos-Sierra de Álamos- (James C. Rorabaugh) 5. Bosque tropical caducifolio en el arroyo Santa Bárbara en la región de Álamos (Erik F. Enderson) 6. Bosque tropical subcaducifolio de la región de Álamos-Arroyo Verde- (Erik F. Enderson).

Lámina 5. Hongos 1
(Hongos y Protozoa afines de Sonora)



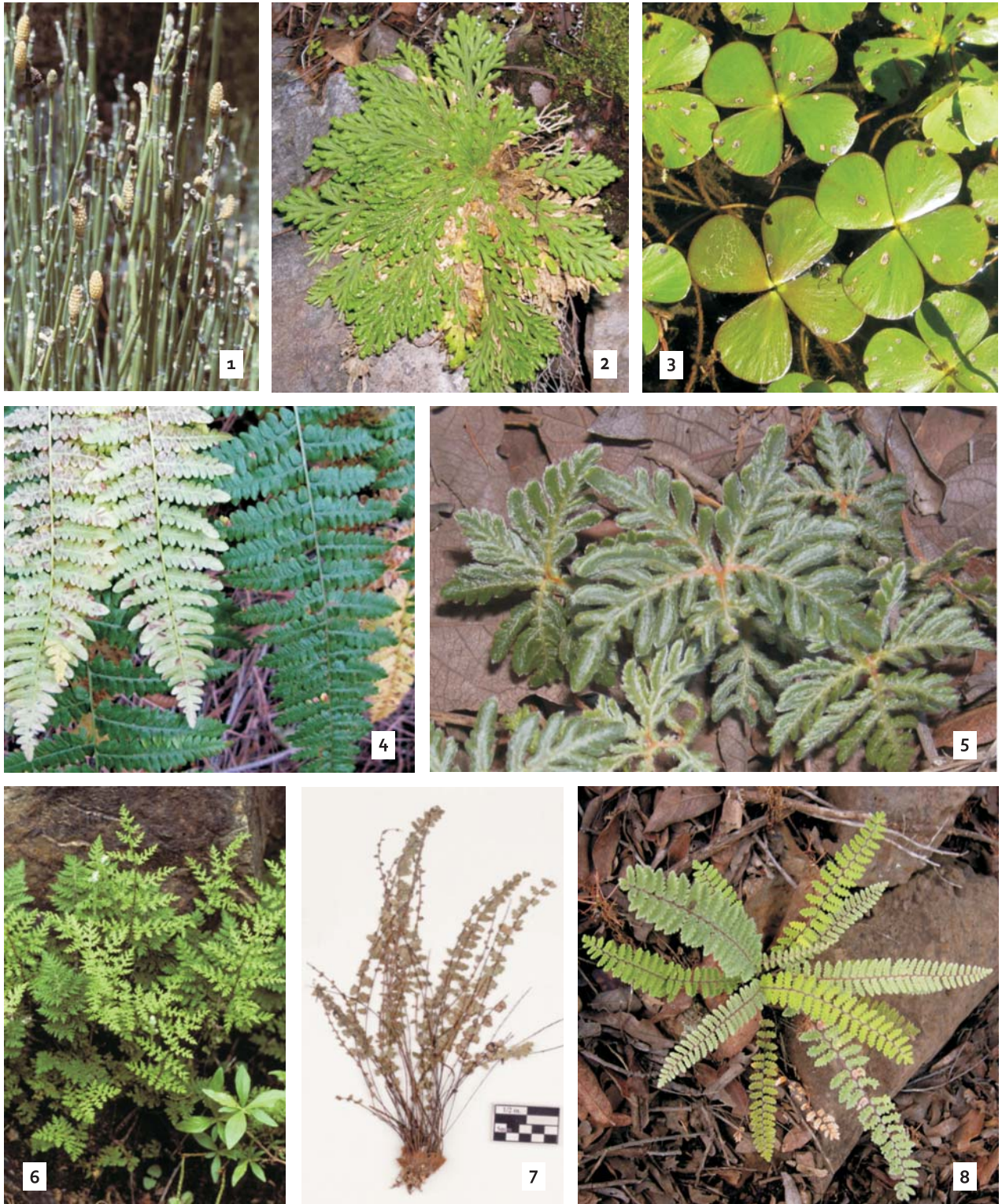
Myxogastria: 1. *Comatricha elegans* (Gabriel Moreno) 2. *Fuligo intermedia* (Martín Esqueda) 3. *Macbrideola synsporos* (Gabriel Moreno). Ascomycetes: 4. *Bisporella citrina* (Fátima Méndez) 5. *Cordyceps sobolifera* (Ricardo Valenzuela) 6. *Helvella acetabulum* (Ricardo Valenzuela). Basidiomycetes, Gasteroides: 7. *Calvatia craniiformis* (Ricardo Valenzuela) 8. *Geastrum saccatum* (Leonardo Verdugo) 9. *Phellorinia herculeana* (Martín Esqueda) 10. *Pisolithus arrhizus* (Martín Esqueda).

Lámina 6. Hongos 2. Basidiomycetes



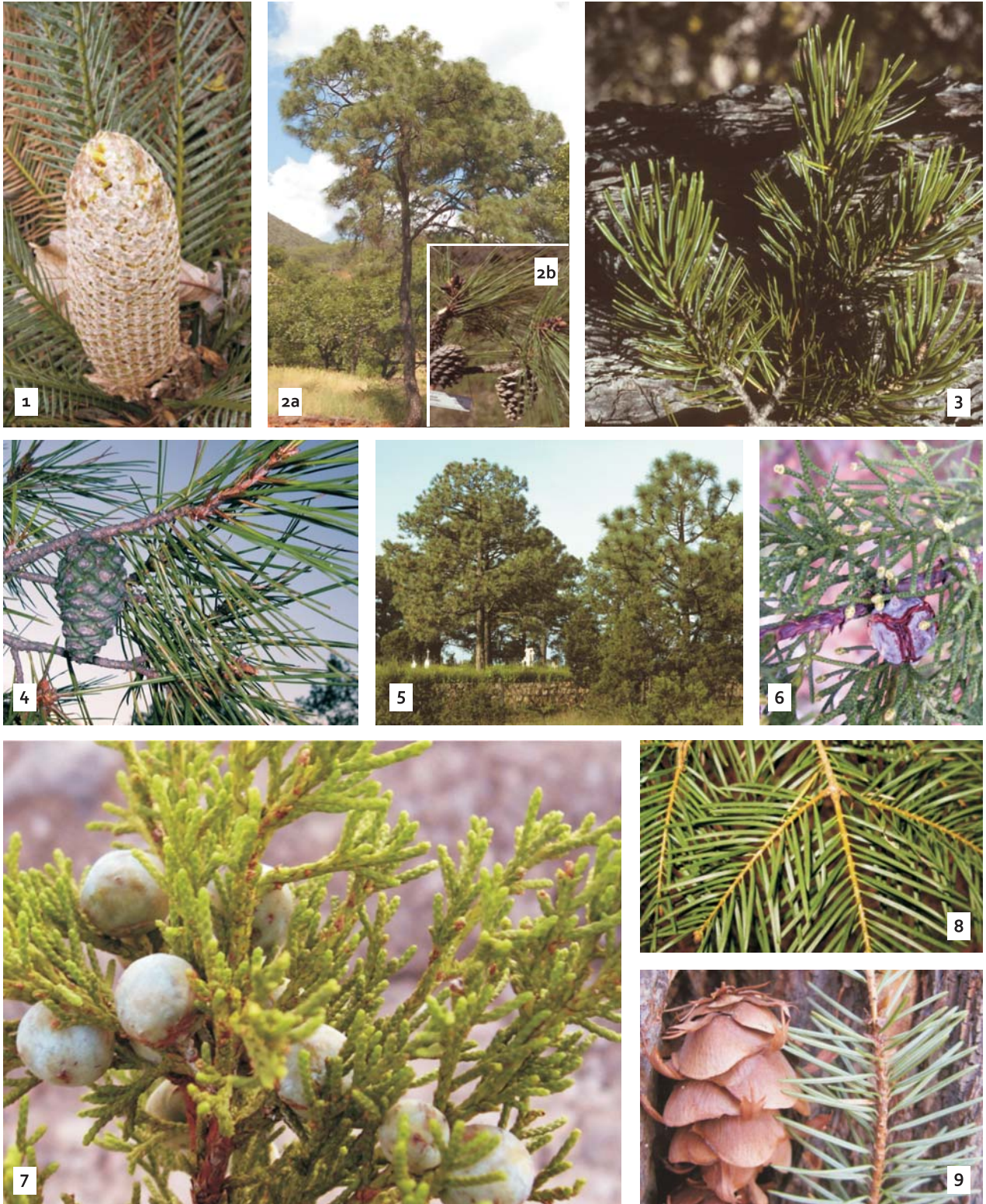
1. *Podaxis pistillaris* (Martín Esqueda). Basidiomycetes, Agaricales: 2. *Amanita virosa* (Ricardo Valenzuela) 3. *Flocularia luteovirens* f. *luteovirens* (Ricardo Valenzuela) 4. *Leucocoprinus cepistipes* (Ricardo Valenzuela) 5. *Omphalotus olearius* (Ricardo Valenzuela) 6. *Volvariella bombycina* (Ricardo Valenzuela). Basidiomycetes, Aphyllophorales: 7. *Ganoderma applanatum* (Martha Coronado) 8. *Hericium erinaceus* (Ricardo Valenzuela) 9. *Laetiporus sulphureus* (Ricardo Valenzuela) 10. *Phellinus linteus* (Ricardo Valenzuela).

Lámina 7. Helechos



1. Cola de caballo –*Equisetum laevigatum*– (Thomas R. Van Devender) 2. Flor de piedra, siempre viva –*Selaginella novoleonensis*– (Francisco Molina-Freaner) 3. Helecho de agua –*Marsilea vestita*– (Thomas R. Van Devender) 4. Helecho –*Pteridium aquilinum*– (Thomas R. Van Devender) 5. Helecho –*Bommeria hispida*– (Francisco Molina-Freaner) 6. Helecho –*Cheilanthes pringlei*– (Thomas R. Van Devender) 7. Ejemplar de helecho endémico –*Cheilanthes yatskievychiana*– [Holotipo en Missouri Botanical Garden: Alberto Búrquez-Montijo 96-302 de Sierra del Aliso (cerca de San Javier), 31 de julio de 1996 (John T. Mickel. 2004. Mem. New York Bot. Gard. 88: 212-213)] 8. Helecho –*Cheilanthes bonariensis*– (Francisco E. Molina-Freaner).

Lámina 8. Gimnospermas



1. Palma de la Virgen –*Dioon sonorese*– (Francisco E. Molina-Freaner) 2a. Pino –*Pinus yecorensis*– (Francisco E. Molina-Freaner) 2b. Cono de *Pinus yecorensis* (George M. Ferguson) 3. Hojas de piñón –*Pinus discolor*– (George M. Ferguson) 4. Cono de *Pinus chihuahuana* (Francisco E. Molina-Freaner) 5. Pino –*Pinus engelmannii*– (George M. Ferguson) 6. Sabino, ciprés –*Cupressus arizonica*– (Francisco E. Molina-Freaner) 7. Táscate –*Juniperus deppeana*– (Francisco E. Molina-Freaner) 8. Hojas de pinabete –*Abies concolor*– (Thomas R. Van Devender) 9. Hojas y cono de pinabete –*Pseudotsuga menziesii*– (Thomas R. Van Devender).

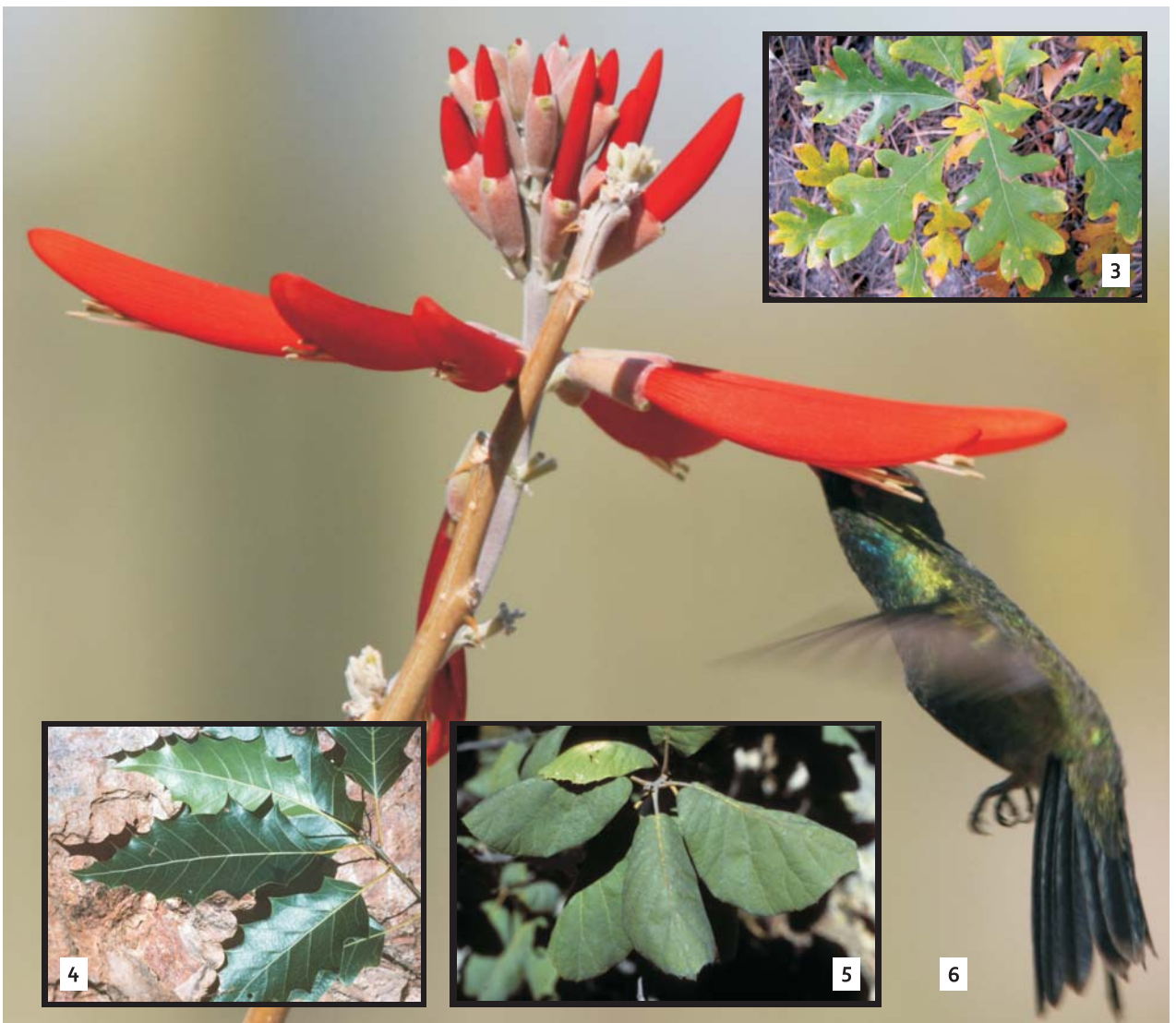
Lámina 9. Angiospermas 1



1



2



3

4

5

6

1. Hojas de maple –*Acer grandidentatum*– (Thomas R. Van Devender) 2. Fresno –*Fraxinus velutina*– (Stephen L. Minter) 3. Encino –*Quercus gambelii*– (Thomas R. Van Devender) 4. Cusi –*Quercus albocincta*– (Thomas R. Van Devender) 5. Güeja –*Quercus tarahumara*– (Thomas R. Van Devender) 6. Chilicote –*Erythrina flabelliformis*– con colibrí pico ancho (Stephen L. Minter).

Lámina 10. Angiospermas 2



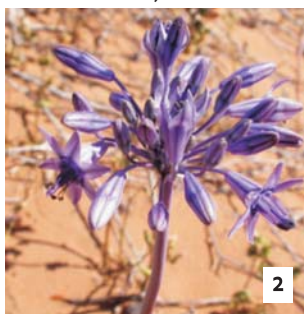
1. Palo blanco –*Mariosousa willardiana*– (Erik F. Enderson) 2. Palo santo –*Ipomoea arborescens*– (Erik F. Enderson) 3. Manzanita –*Arctostaphylos pungens*– (Stephen L. Minter) 4a. Rama blanca, hierba del bazo –*Encelia farinosa*– (Stephen L. Minter) 4b. Flores de rama blanca –*Encelia farinosa*– (Thomas R. Van Devender) 5. Bombitas –*Cardiospermum corindum*– (Bradley Boyle) 6. Sa-ya –*Amoreuxia palmatifida*– (Thomas R. Van Devender).

Lámina 11. Angiospermas 3
(Cactáceas)



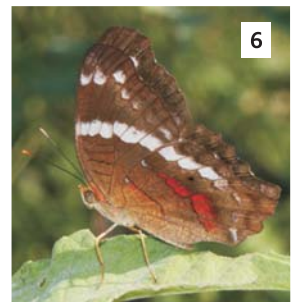
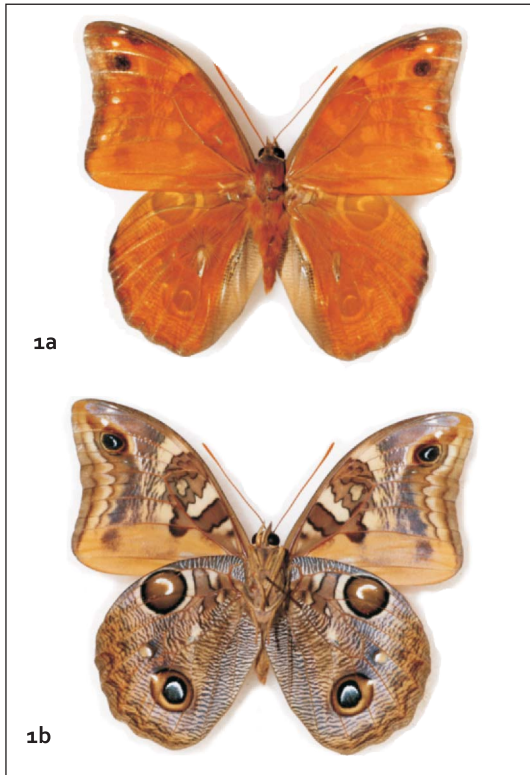
1. Cabecita de viejo –*Mammillaria grahamii*– (Stephen L. Minter) 2. Flor de pitahayita –*Echinocereus scopulorum*– (Ana Lilia Reina-Guerrero) 3. Flor de siviri –*Cylindropuntia versicolor*– (Stephen L. Minter) 4. Flor de pitahaya agria –*Stenocereus gummosus*– (Erik F. Enderson) 5. Flor de pitahaya –*Echinocereus pseudopectinatus*– (Thomas R. Van Devender) 6. Flores de cardón, sahuero –*Pachycereus pringlei*– (Francisco Molina-Freaner) 7. Sinita –*Lophocereus schottii*– (Francisco Molina-Freaner).

Lámina 12. Angiospermas 4
(Monocotiledóneas)



1. Lirio maravilla –*Tigrida pavoniana*– (Thomas R. Van Devender) 2. Lirio arenoso –*Triteliopsis palmeri*– (Bradley Boyle) 3. Magüey –*Agave colorata*– (Erik F. Enderson) 4. Tautita –*Agave parviflora* var. *flexiflora*– (Eric Ramírez-Bravo) 5. Dátil –*Yucca baccata*– (Thomas R. Van Devender) 6. Lirio del agua –*Hymenocallis sonorensis*– (Thomas R. Van Devender) 7. Zacate tres barbas colorada –*Aristida purpurea*– (Thomas R. Van Devender) 8. Zacate borreguero –*Dasyochloa pulchella*– (Thomas R. Van Devender).

Lámina 13. Insectos 1
(Lepidópteros)



1a. Vista superior de la mariposa palmera –*Opsiphanes blythekeitzmillerae*– (James P. Brock) 1b. Vista inferior de la mariposa palmera –*Opsiphanes blythekeitzmillerae*– (James P. Brock) 2. Mariposa palomilla –*Automeris patagoniensis*– (Kirby Wolfe) 3. Mariposa –*Chlosyne lacinia*– (James C. Rorabaugh) 4. Mariposa –*Chlosyne eumeda*– (Doug Danforth) 5. Mariposa –*Siproeta stelenes*– (Thomas R. Van Devender) 6. Mariposa –*Anartia fatima*– (Doug Danforth) 7. Mariposa –*Apodemia palmeri*– (James C. Rorabaugh) 8. Mariposa –*Libytheana carinenta*– (Stephen L. Minter) 9. Mariposa –*Synapte syraces*– (Doug Danforth).

Lámina 14. Insectos 2
(Odonata)



1



2



3



4



5

1. Libélula –*Argia harknessi*– (Doug Danforth) 2. Libélula –*Argia tezpi*– (Doug Danforth) 3. Libélula –*Macrothemis pseudimitans*– (Doug Danforth) 4. Libélula –*Progomphus borealis*– (Stephen L. Minter) 5. Libélula –*Pseudoleon superbus*– (Stephen L. Minter).

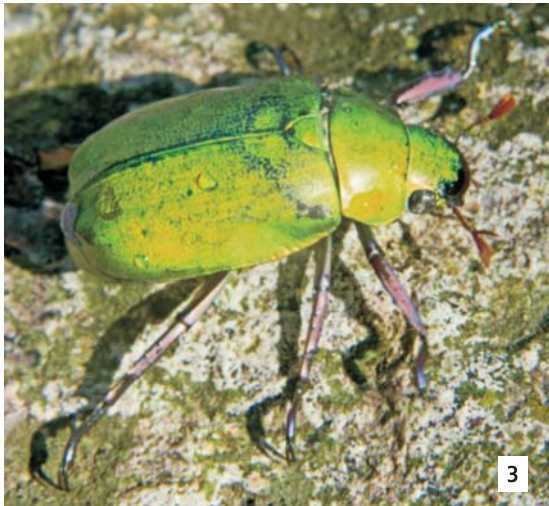
Lámina 15. Insectos 3
(Coleópteros)



1



2



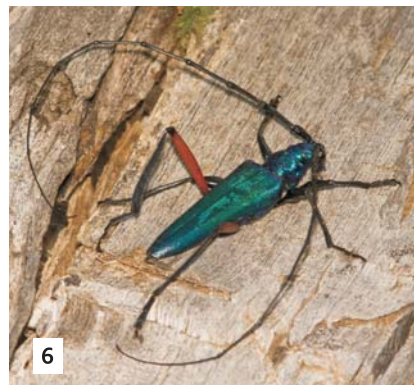
3



4



5



6



7

1. Pinacate –*Asbolus verrucosus*– (Charles Hedgcock) 2. Rodacaca –*Canthon humectus*– (Thomas R. Van Devender) 3. Mayate esmeralda –*Chrysina beyeri*– (James C. Rorabaugh) 4. Mayate esmeralda –*Chrysina gloriosa*– (Doug Danforth) 5. Mayate honguero –*Gibbifer californicus*– (Thomas R. Van Devender) 6. Torito metálico –*Plinthocoelium suavegens plicatum*– (Stephen L. Minter) 7. Buceador pinto –*Thermonectus marmoratus*– (Charles Hedgcock).

Lámina 16. Insectos 4
(varios grupos)



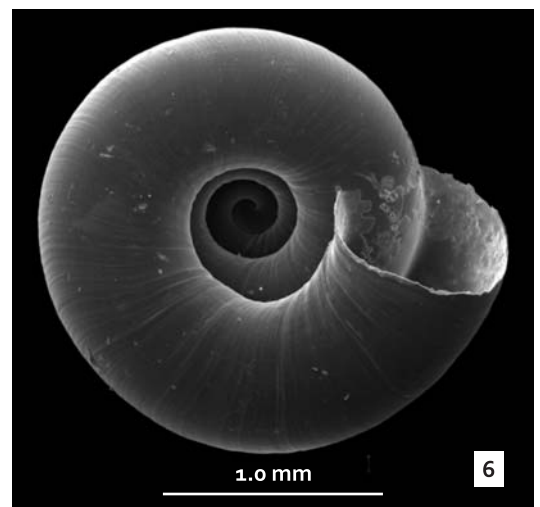
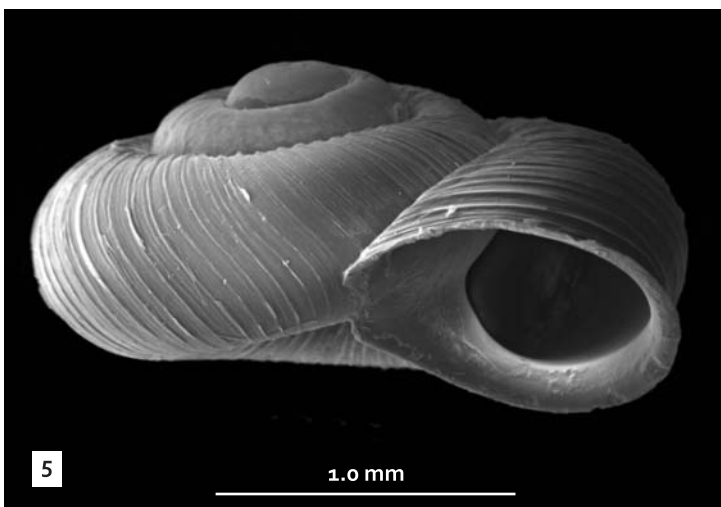
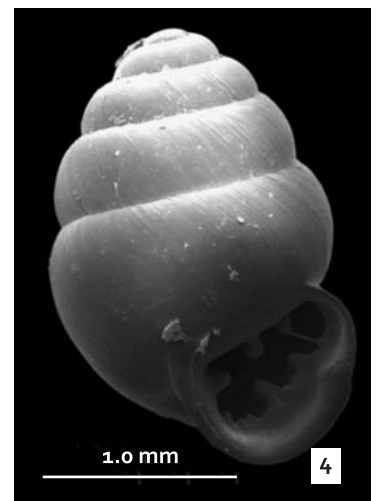
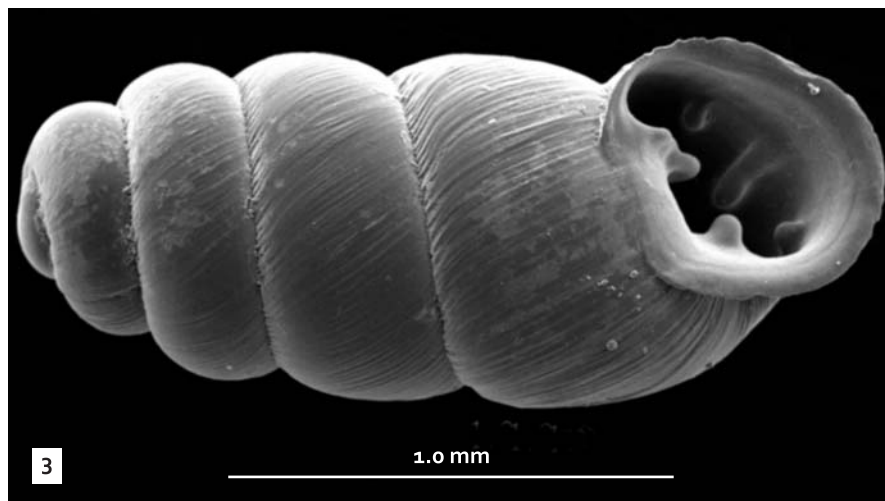
1. Chapulín –*Schistocerca albolineata*– (Stephen L. Minter) 2. Bitachi –*Polistes canadensis*– (Stephen L. Minter) 3. Chinche besucona –*Triatoma recurva*– (James C. Rorabaugh) 4. Chinche del mezquite –*Thassus acutangulus*– (Stephen L. Minter) 5. Chicharra –*Tibicen cultriformis*– (James C. Rorabaugh) 6. Mochomo –*Atta mexicana*– (Charles Hedgcock).

Lámina 17. Artrópodos 1



1. Cangrejo –*Pseudothelphusa sonorensis*– (James C. Rorabaugh) 2. Cauque –*Macrobrachium* sp.– (Thomas R. Van Devender) 3. Vina-grillo, matavenado –*Mastigoproctus giganteus*– (Charles Hedgcock) 4. Ciempiés –*Scolopendra heros*– (Charles Hedgcock) 5. Alacrán –*Centruroides exilicauda*– (Stephen L. Minter) 6. Alacrán –*Hadrurus arizonensis*– (R. Wayne Van Devender) 7. Tarántula –*Aphonopelma moorei*– (Erik F. Enderson) 8. Araña lobo –*Hogna coloradensis*– (Stephen L. Minter) 9. Viuda negra –*Latrodectus hesperus*– (James C. Rorabaugh).

Lámina 18. Moluscos



1. Caracol –*Humboldtiana ootamorum*– (Thomas R. Van Devender) 2. Caracol –*Succinea luteola*– (R. Wayne Van Devender) 3. Caracol –*Gastrocopta cristata*– (R. Wayne Van Devender) 4. Caracol –*Vertigo ovata*– (R. Wayne Van Devender) 5. Caracol –*Vallonia perspectiva*– (R. Wayne Van Devender) 6. Caracol –*Hawaiiia minuscula*– (R. Wayne Van Devender).

Lámina 19. Peces 1
(Peces dulceacuícolas nativos de Sonora)



1. Trucha Yaqui juvenil –*Oncorhynchus* sp.– (Alejandro Varela.) 2. Trucha Yaqui –*Oncorhynchus* sp.– adulta mostrando colorido característico de la etapa reproductiva (Alejandro Varela). Grupo de ciprínidos nativos: 3. Carpita del Gila –*Gila intermedia*– (Alejandro Varela) 4. Carpa aleta redonda mexicana –*Gila minacae*– (Alejandro Varela) 5. Rodapiedras mexicano –*Campostoma ornatum*– (Alejandro Varela) 6. Hembra de carpa adornada –*Cyprinella ornata*– (Alejandro Varela).

Lámina 20. Peces 2



1. Matalote Yaqui –*Catostomus bernardini*– (Alejandro Varela) 2. Matalote del Bravo –*Pantosteus cf. plebeius*– (Alejandro Varela) 3. Bagre Yaqui –*Ictalurus pricei*– (Alejandro Varela) 4. Carpita Sonorense –*Gila ditaenia*– (R. Wayne Van Devender) 5. Pez cachorrito del desierto –*Cyprinodon macularius*– (Alejandro Varela) 6. Topote del Yaqui –*Poeciliopsis sonoriensis*– (Alejandro Varela) 7. Mojarra Sinaloense –*Cichlasoma beani*– (R. Wayne Van Devender).

Lámina 21. Anfibios 1



1. Salamandra huachuquense –*Ambystoma mavortium stebbinsi*– (James C. Rorabaugh) 2. Salamandra madreña –*Ambystoma rosaceum*– (Thomas R. Van Devender) 3. Tlaconete –*Pseudoeurycea bellii* subsp. *sierraoccidentalis*– (Erik F. Enderson) 4. Sapo cavador –*Scaphiopus couchii*– (Thomas R. Van Devender) 5. Sapo verde –*Anaxyrus debilis*– (Erik F. Enderson) 6. Sapo –*Anaxyrus kelloggi*– (Erik F. Enderson).

Lámina 22. Anfibios 2



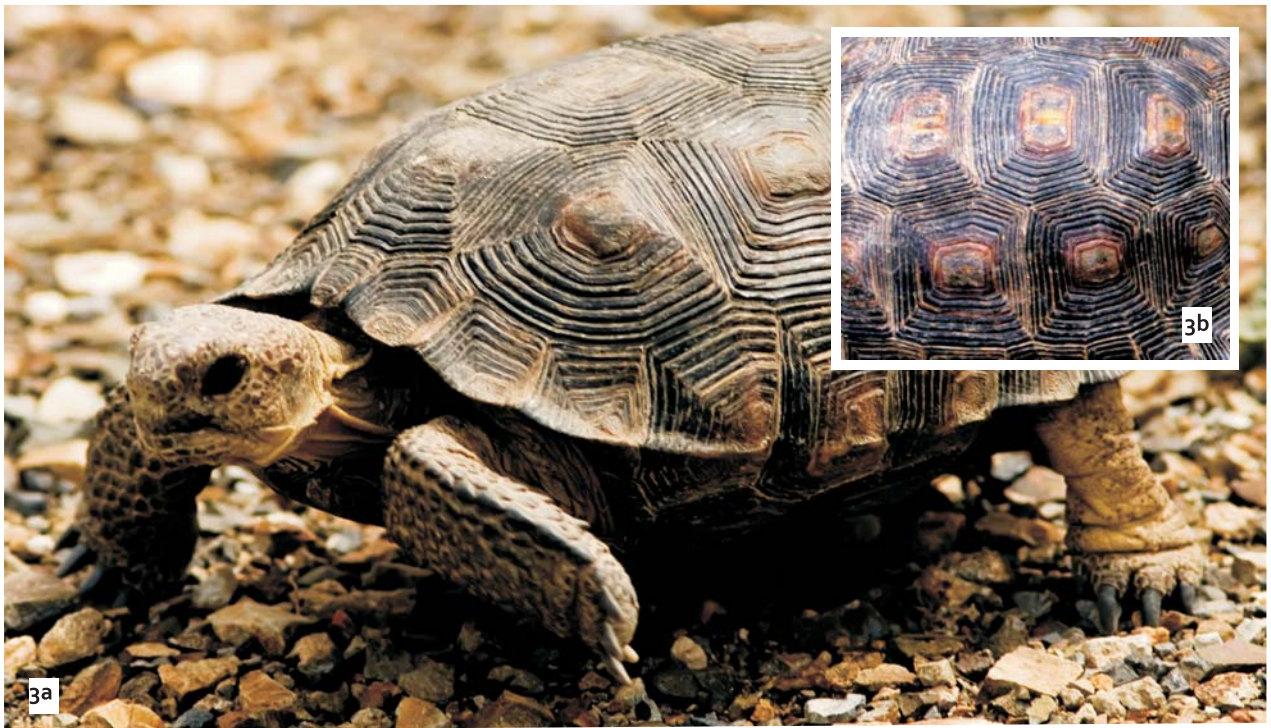
1. Sapo verde –*Anaxyrus retiformis*– (Erik F. Enderson) 2. Sapo –*Anaxyrus woodhousei*– (Thomas R Van Devender) 3. Sapo –*Anaxyrus mexicanus*– (Thomas R. Van Devender) 4. Sapo toro –*Ollotis alvaria*– (James C. Rorabaugh) 5. Sapo –*Ollotis occidentalis*– (Erik F. Enderson).

Lámina 23. Anfibios 3



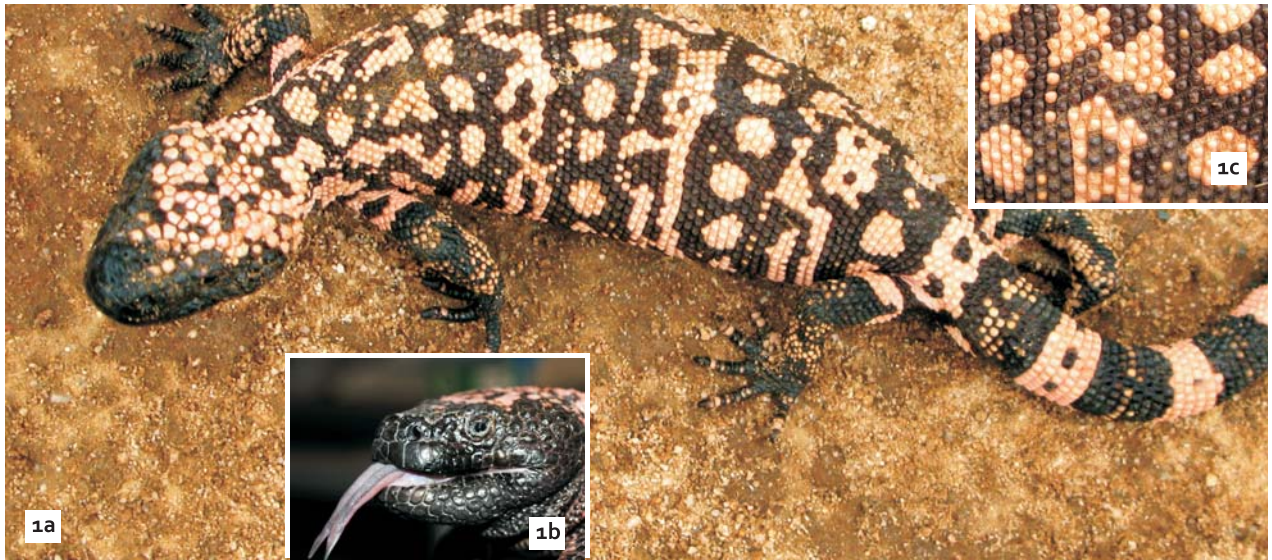
1. Rana trepadora –*Pachymedusa dacnicolor*– (James C. Rorabaugh) 2. Rana trepadora –*Smilisca baudini*– (Thomas R. Van Devender) 3. Rana trepadora –*Hyla arenicolor*– (Thomas R. Van Devender) 4. Rana cavadora –*Smilisca fodiens*– (Thomas R. Van Devender) 5. Rana Yavapai –*Lithobates yavapaiensis*– (Thomas R. Van Devender) 6. Rana Tarahumara –*Lithobates tarahumarae*– (Stephen L. Minter).

Lámina 24. Reptiles 1



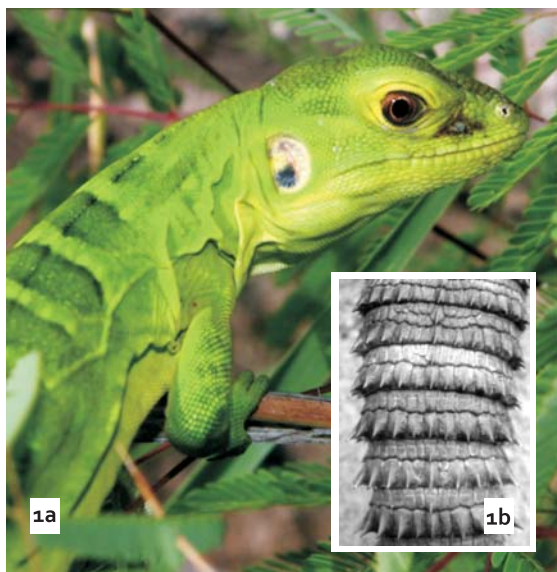
1. Cocodrilo –*Crocodilus acutus*– (Alwin van der Heiden) 2. Tortuga del agua –*Kinsternon sonoriense*– (R. Wayne Van Devender) 3a. Tortuga del monte –*Gopherus agassizii*– (Stephen L. Minter) 3b. Detalle del caparazón de la tortuga del monte –*Gopherus agassizii*– (Thomas R. Van Devender) 4. Tortuga –*Terrapene nelsoni*– (Erik F. Enderson) 5. Tortuga –*Terrapene ornata*– (R. Wayne Van Devender).

Lámina 25. Reptiles 2



1a. Escorpión del desierto –*Heloderma suspectum*– (Thomas R. Van Devender) 1b. Cabeza del escorpión del desierto –*Heloderma suspectum*– (Danielle A. Moore-Thomas) 1c. Detalle de la epidermis del escorpión del desierto –*Heloderma suspectum*– (Thomas R. Van Devender) 2a. Salamandresa –*Coleonyx variegatus*– (R. Wayne Van Devender) 2b. Detalle de la cabeza de salamandresa –*Coleonyx variegatus*– (R. Wayne Van Devender) 3. Sabandija –*Elgaria kingii*– (Erik F. Enderson) 4. Huico bavispeño –*Aspidoscelis opatae*– (Erik F. Enderson).

Lámina 26. Reptiles 3



1a. Iguana –*Ctenosaura macrolopha*– (James C. Rorabaugh) 1b. Detalle de la cola de *Ctenosaura macrolopha* (Thomas R. Van Devender) 2. Porohui, iguana –*Dipsosaurus dorsalis*– (James C. Rorabaugh) 3. Chuckwala –*Sauromalus ater*– (James C. Rorabaugh) 4. Lagartija de collar azul –*Crotaphytus dickersonae*– (Erik F. Enderson) 5. Perrita –*Cophosaurus texanus*– Stephen L. Minter) 6. Lagartija arenera –*Uma rufopunctata*– (Dale Turner).

Lámina 27. Reptiles 4



1. Camaleón de Ditmars—*Phrynosoma ditmarsii*—(Erik F. Enderson) 2. Camaleón arenoso—*Phrynosoma mcalli*—(R. Wayne Van Devender) 3a. Camaleón real—*Phrynosoma solare*—(Thomas R. Van Devender) 3b. Detalle de la epidermis del camaleón real—*Phrynosoma solare*—(Thomas R. Van Devender). 4. Camaleón cornudito—*Phrynosoma hernandesi*—(Thomas R. Van Devender).

Lámina 28. Reptiles 5



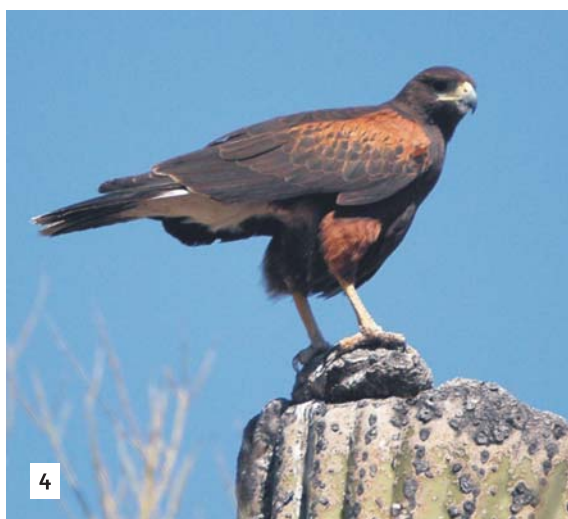
1. Culebra cabeza de cochi –*Heterodon kennerlyi*– (Erik F. Enderson) 2. Falso coralillo madreño –*Lampropeltis pyromelana knoblochi*– (R. Wayne Van Devender) 3. Falso coralillo pitahayero –*Chionactis palarostris*– (R. Wayne Van Devender) 4. Coralillo –*Micrurus euryxanthus*– (Erik F. Enderson) 5. Pichecuate, cantil –*Agkistrodon bilineatus*– (James C. Rorabaugh) 6. Víbora de cascabel de cuernitos –*Crotalus cerastes*– (R. Wayne Van Devender) 7. Víbora de cascabel –*Crotalus willardi*– (Erik F. Enderson) 8. Víbora de cascabel –*Crotalus atrox*– (Thomas R. Van Devender).

Lámina 29. Aves 1



1. Cerceta aliverde –*Anas crecca*– (Stephen L. Minter) 2. Pato cucharón norteño –*Anas clypeata*– (Stephen L. Minter) 3. Pato mexicano –*Anas platyrhynchos diazi*– (Marco Antonio González) 4. Garzón cenizo –*Ardea herodias*– (James C. Rorabaugh) 5. Garza tigre mexicana –*Tigrisoma mexicanum*– (Alwin van der Heiden) 6. Jacana norteña –*Jacana spinosa*– (Marco Antonio González).

Lámina 30. Aves 2



1. Chachalaca viente castaño –*Ortalis wagleri*– (Marco Antonio González) 2. Pareja de codorniz mascarita –*Colinus virginianus* subsp. *ridgwayi*– (Eduardo Gómez-Limón) 3. Codorniz chiquiri –*Callipepla gambelii*– (James C. Rorabaugh) 4. Aguililla de Harris –*Parabuteo unicinctus*– (Sky Jacobs) 5. Aguililla negra menor –*Buteogallus anthracinus*– (Alwin van der Heiden) 6. Gavilán de Cooper –*Accipiter cooperii*– (Stephen L. Minter).

Lámina 31. Aves 3



1



2



3



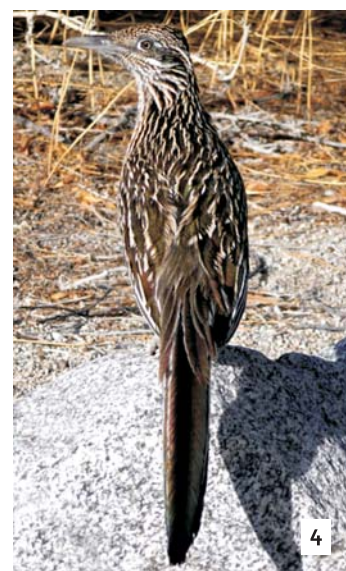
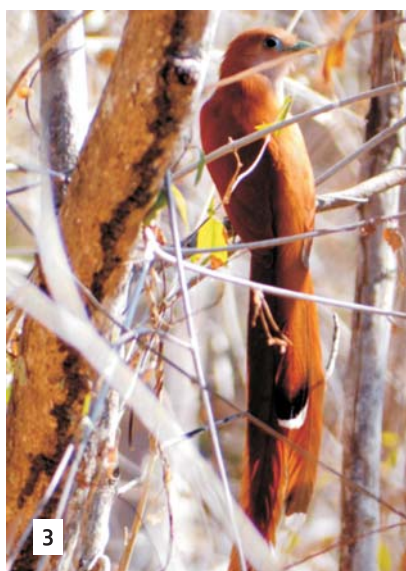
4



5

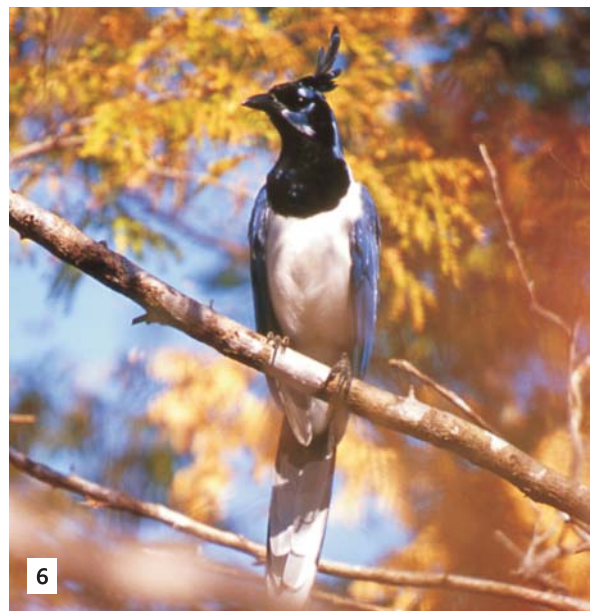
1. Caracara común –*Caracara cheriway*– (Sky Jacobs) 2. Aguililla aura –*Buteo albonotatus*– (Sky Jacobs) 3. Tecolotito enano –*Micathene whitneyi*– (Stephen L. Minter) 4. Tecolote bajoño –*Glaucidium brasilianum*– (Sky Jacobs) 5. Búho cornudo –*Bubo virginianus*– (Marco Antonio González).

Lámina 32. Aves 4



1. Trogón elegante –*Trogon elegans*– (Sky Jacobs) 2. Guacamaya verde –*Ara militaris*– (Alwin van der Heiden) 3. Cuclillo canela –*Piaya cayana*– (Alwin van der Heiden) 4. Churea, correcominos norteño –*Geococcyx californianus*– (Sky Jacobs) 5. Loro corona lila –*Amazona finschi*– (James C. Rorabaugh) 6. Chotacabras zumbón –*Chordeiles minor*– (Alwin van der Heiden).

Lámina 33. Aves 5



1. Pachacua norteña –*Phalaenoptilus nuttallii*– (Stephen L. Minter) 2. Tapacamino tu cuchillo –*Caprimulgus ridgwayi*– (James C. Rorabaugh) 3. Colibrí de Costa –*Calypte costae*– (James C. Rorabaugh) 4. Carpintero bellotero –*Melanerpes formicivorus*– (Stephen L. Minter) 5. Chara crestada –*Cyanocitta stelleri*– (Stephen L. Minter) 6. Urraca hermosa cara negra –*Calocitta colliei*– (Alwin van der Heiden).

Lámina 34. Mamíferos 1



1. Tlacuachín –*Tlacuatzin canescens*– (Thomas R. Van Devender) 2. Armadillo –*Dasyus novemcinctum*– (R. Wayne Van Devender) 3. Puercoespín –*Erethizon dorsalis*– (Paul Berquist) 4. Castor –*Castor canadensis*– (R. Wayne Van Devender) 5. Perrito de las praderas –*Cynomys ludovicianus*– (Reyna A. Castillo) 6. Chichimoco –*Tamias dorsalis*– (Stephen L. Minter).

Lámina 35. Mamíferos 2



1



2



3



5



4



6



7

1. Ardilla –*Ammospermophilus harrisi*– (Stephen L. Minter) 2. Ardilla –*Sciurus arizonensis*– (James C. Rorabaugh) 3. Rata canguro –*Dipodomys spectabilis*– (R. Wayne Van Devender) 4. Ratón –*Baiomys taylori*– (R. Wayne Van Devender) 5. Rata –*Sigmodon arizonae*– (James C. Rorabaugh) 6. Liebre –*Lepus alleni*– (Sky Jacobs) 7. Tejón –*Taxidea taxus*– (James C. Rorabaugh).

Lámina 36. Mamíferos 3

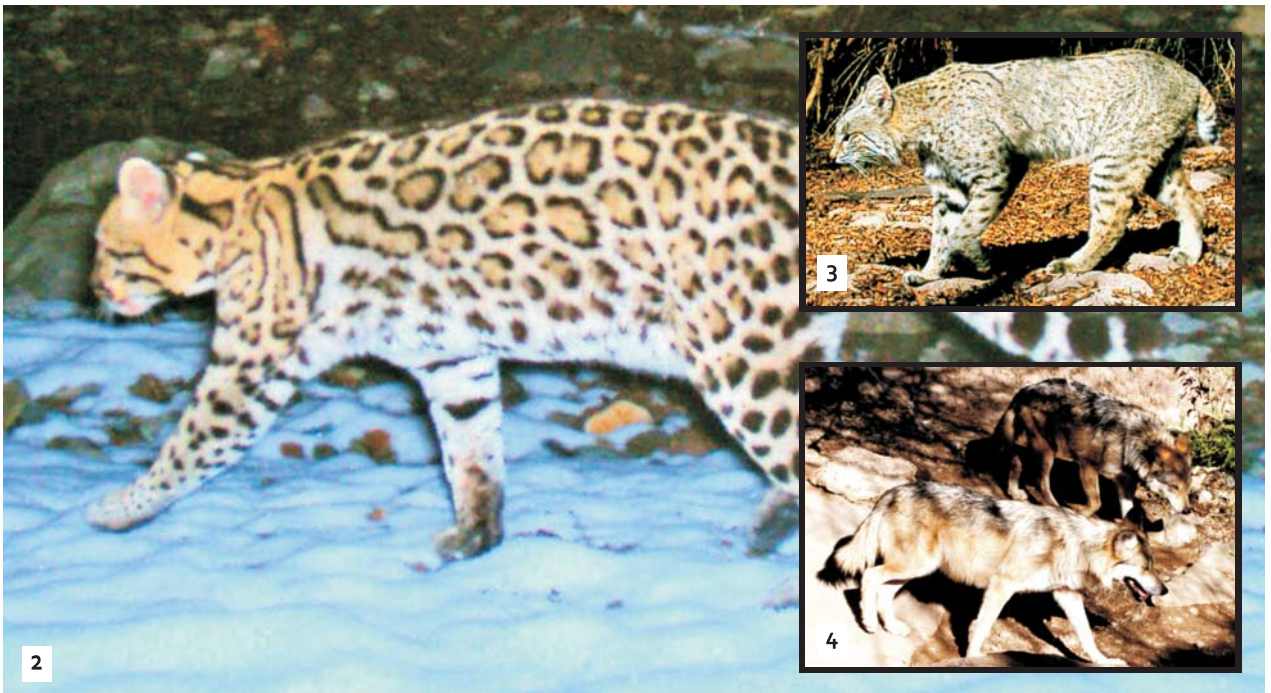


1. Musaraña –*Notiosorex crawfordi*– (Clarence L. Abercrombie) 2. Murciélago –*Corynorhynchus townsendi*– (©Merlin D. Tuttle, Bat Conservation International) 3. Murciélago –*Euderma maculatum*– (©Merlin D. Tuttle, Bat Conservation International) 4. Murciélago –*Myotis auricles*– (©Merlin D. Tuttle, Bat Conservation International) 5. Murciélago –*Myotis ciliolabrum*– (©Merlin D. Tuttle, Bat Conservation International) 6. Murciélago –*Lasiurus cinereus*– (James C. Rorabaugh).

Lámina 37. Mamíferos 4



1



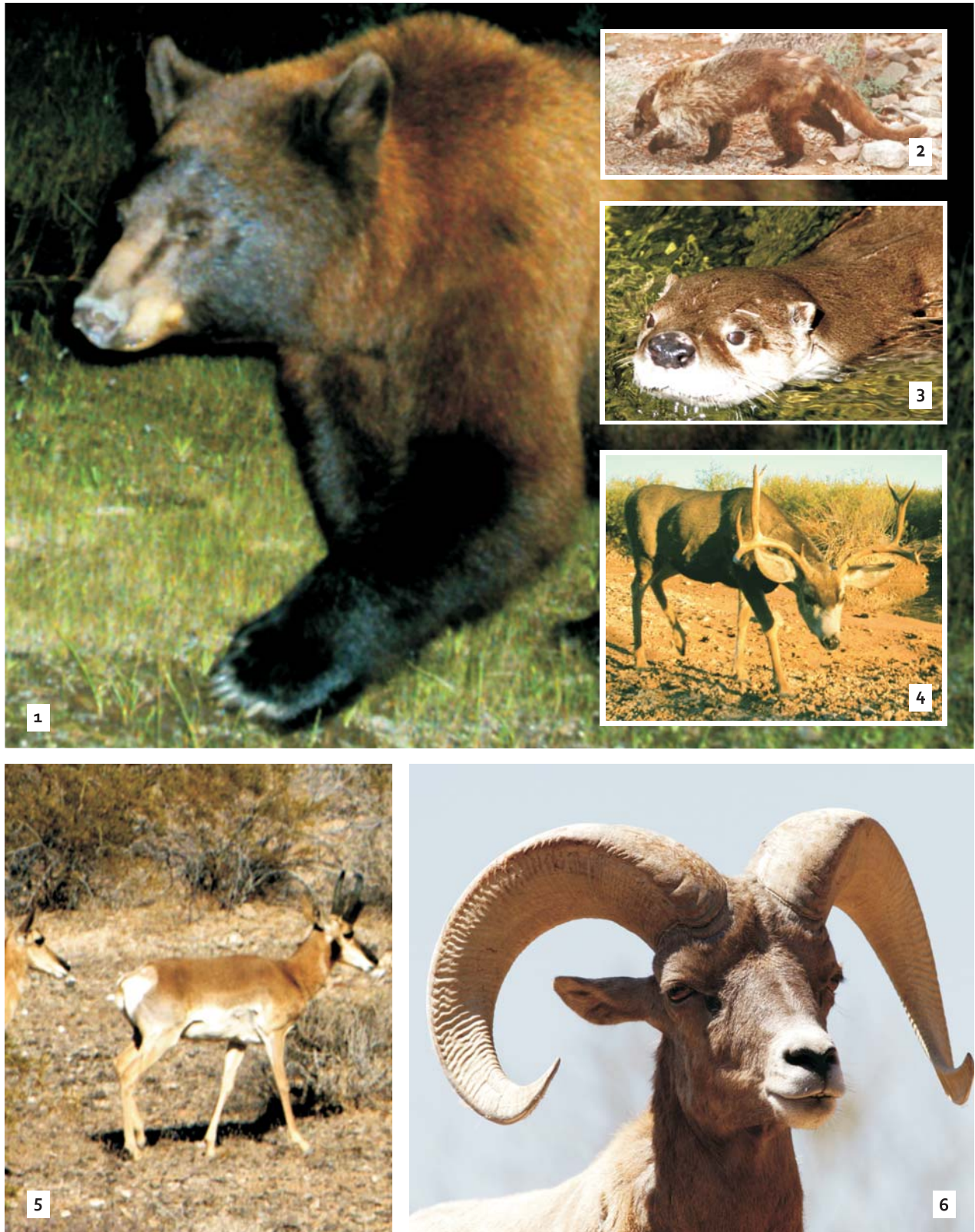
2

3

4

1. Jaguar o tigre –*Panthera onca*– (Alwin van der Heiden) 2. Ocelote –*Leopardus pardalis*– (Sergio Ávila) 3. Gato montés, gato pochi –*Lynx rufus*– (Sergio Ávila) 4. Lobo mexicano –*Canis lupus*– (Stephen L. Minter).

Lámina 38. Mamíferos 5



1. Oso negro –*Ursus americanus*– (© Rubén Ruiz-Rancho Pan Duro) 2. Cholugo, chulo, solitario –*Nasua narica*– (R. Wayne Van Devender) 3. Nutria –*Lontra canadensis*– (Stephen L. Minter) 4. Venado bura –*Odocoileus hemionus*– (Sergio Ávila) 5. Berrendo sonorensis –*Antilocapra americana sonoriensis*– (James Hedrick) 6. Borrego cimarrón –*Ovis canadensis*– (James C. Rorabaugh).

Lámina 39. Especies invasoras



1. Zacate buffel –*Pennisetum ciliare*– (Francisco Molina-Freaner) 2. Mostaza del desierto –*Brassica tournefortii*– (Mark A. Dimmitt) 3. Pino salado –*Tamarix chinensis*– (Francisco Molina-Freaner) 4. Zacate rosado –*Melinis repens*– (Thomas R. Van Devender) 5. Hielitos –*Mesembryanthemum crystallinum*– (Thomas R. Van Devender) 6. Rana Toro –*Lithobates catesbeiana*– (R. Wayne Van Devender) 7. Abeja africanizada –*Apis mellifera*– (Stephen L. Minter). 8. Tilapia –*Tilapia zilli*– (Alejandro Varela).

Lámina 40. Transformación del paisaje y usos de plantas



1. Desmote para la siembra de zacate buffel en la región de Álamos (Thomas R. Van Devender) 2. Pradera de zacate buffel –*Pennisetum ciliare*– en la región de Tecoripa (Francisco Molina-Freaner) 3. Invasión de zacate buffel en laderas de Siete Cerros. El espacio entre árboles y cactus columnares está ocupado por este pasto –*Pennisetum ciliare*– invasor (Francisco Molina-Freaner) 4. Estanques para la producción acuícola en la región de San Nicolás (Francisco Molina-Freaner) 5. Jales de Nacozeni de García, Sonora (Francisco Molina-Freaner) 6. Corte y extracción de troncos de pino en la sierra del Tigre (George M. Ferguson) 7. Producción de carbón con madera de encino en la región de Yécora, Sonora (Thomas R. Van Devender) 8. Transporte de troncos de encinos en la región de Maycoba, Sonora (Thomas R. Van Devender) 9. Transporte de varas de ocotillo –*Fouquieria splendens*– para exportación para la construcción de cercos en Agua Prieta, Sonora (Thomas R. Van Devender).

«DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE SONORA»
se terminó de imprimir
el mes de febrero de 2010
en Imagen Digital del Noroeste, S. A. de C. V.,
Veracruz 19-A, Tel/Fax (662) 214-8822.
Tiraje: 500 ejemplares.
Edición a cargo de
Mora-Cantúa Editores, S. A. de C.V.,
Alfredo Eguiarte 56-A, Col. Bugambilias
Tel/Fax (662) 285-1145 y 213-3783
www.moracantuaeditores.com

Hermosillo, Sonora, México.

*Los editores agradecen a Mora-Cantúa Editores el profesional trabajo realizado en la corrección,
diseño y formación de este libro y del disco compacto adjunto.*

