

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/269105535>

Empleo de herramientas panbiogeográficas para detectar áreas para conservar: Un ejemplo con taxones dulceacuícolas.

Chapter · January 2007

CITATIONS

19

READS

440

4 authors, including:



Andrés Martínez-Aquino

Autonomous University of Baja California

46 PUBLICATIONS 468 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Rogelio Aguilar-Aguilar

Universidad Nacional Autónoma de México

74 PUBLICATIONS 937 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Raúl Contreras-Medina

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

55 PUBLICATIONS 832 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



"Ecología Urbana: retos para la conservación de la fauna silvestre en ambientes urbanos" [View project](#)



Biodiversidad de parásitos de peces marinos/Biodiversity of parasites of marine fishes [View project](#)

Empleo de herramientas panbiogeográficas para detectar áreas para conservar: Un ejemplo con taxones dulceacuícolas

ANDRÉS MARTÍNEZ-AQUINO, ROGELIO AGUILAR-AGUILAR,
HAMLET O. SANTA ANNA DEL CONDE-JUÁREZ Y RAÚL CONTRERAS-MEDINA

Resumen. Se realizó un análisis de trazos basado en la distribución de tres grupos biológicos (peces, helmintos parásitos y plantas acuáticas), con la finalidad de detectar cuerpos de agua en la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) cuya complejidad biogeográfica permita considerarlos relevantes para la conservación. Los trazos generalizados se obtuvieron a partir de un análisis de parsimonia de endemismos con eliminación progresiva de caracteres (PAE-PCE). Los trazos generalizados se localizan en la parte central de la FVT y su convergencia permite detectar cuatro nodos, lo que sugiere que esta zona es compleja en términos biogeográficos. En esta zona se encuentran cuatro cuerpos de agua importantes, de los cuales destacan el manantial La Mintzita y el lago de Zacapu debido a su riqueza biológica, incluyendo algunas especies endémicas. Se discute la posibilidad de considerar a estos sistemas hidrológicos como áreas a conservar, su problemática ambiental y perspectivas, resaltando la importancia de realizar estudios que empleen métodos formales para detectar áreas a conservar, como complemento a las propuestas basadas exclusivamente en la presencia de especies de distribución restringida.

Abstract. A track analysis was carried out based on the distribution of three biological groups (fishes, helminth parasites and aquatic plants) in order to detect water bodies in the Transmexican Volcanic Belt (TVB) whose biogeographical complexity let consider them relevant for conservation. The generalized tracks were obtained from a parsimony analysis of endemismos with progressive character elimination (PAE-PCE). The generalized tracks are located in the central portion of the TVB and their convergence led us to detect four nodes. In this region are located four important water bodies, from which the spring La Mintzita and the lake Zacapu are emphasized, due to their biological richness, including some endemic species. These hydrological systems can be considered as conservation areas, possibility that is herein discussed, as well as their environmental problems and perspectives, emphasizing the importance of carrying studies applying formal methods to detect areas for conservation, as a complement to the proposals based only on the presence of species with restricted distributions.

INTRODUCCIÓN

La Faja Volcánica Transmexicana (FVT) es una provincia biogeográfica de suma importancia por considerarse parte de una zona de transición, donde confluyen diferentes grupos biológicos de distintas afinidades (Rzedowski 1991, Ferrusquía-Villafranca 1998, Morrone y Márquez 2001, Halffter 2003, Morrone 2005). La FVT presenta una gran extensión geográfica y una accidentada orografía originada de una historia geológica compleja, que ha permitido la formación de distintos sistemas acuáticos, los cuales a su vez dieron como resultado una amplia diver-

sidad de especies acuáticas endémicas (Miller y Smith 1986, Flores-Villela 1998). Dichos sistemas se dividen en cuerpos lénticos, que corresponden a aguas con poco movimiento, como lagos, lagunas, presas y reservorios; y cuerpos lóticos, que corresponden a aguas en movimiento o corrientes superficiales, como ríos y arroyos (Arriaga-Cabrera *et al.* 2000). Dentro de la FVT se encuentran aproximadamente 105 cuerpos lénticos, repartidos en 67 presas o reservorios y 38 lagos, de los cuales los más importantes debido a su gran extensión son los que se ubican al centro-occidente: el Lago de Chapala, Jalisco y los de Cuitzeo y Pátzcuaro, Michoacán, mientras que los principa-

les sistemas lóticos son los ríos Lerma y Santiago (Arriaga-Cabrera *et al.* 2000).

Biogeografía y conservación. Distintos autores han reconocido a la biogeografía como una ciencia capaz de incorporar criterios objetivos para sistematizar y documentar los patrones de la biodiversidad en términos de conservación (Nelson y Ladiges 1990; Morrone y Crisci 1992, 1993; Platnick 1992; Grehan 1993; Morrone y Espinosa 1998; Posadas y Miranda-Esquivel 1999; Morrone 2000, 2004a; Pozo y Llorente 2001; Cavieres *et al.* 2002; Escalante 2003; Espadas-Manrique *et al.* 2003; Villaseñor *et al.* 2003; Luna *et al.* 2004; Méndez-Larios *et al.* 2005). El enfoque denominado panbiogeografía (Croizat 1958, 1964) ha sido aplicado recientemente a diferentes grupos taxonómicos en América latina para identificar áreas para la conservación (Morrone 1999, Espinosa y Morrone 2000, Luna *et al.* 2000, Álvarez-Mondragón y Morrone 2004). Mediante este método, se representan en un mapa las diferentes localidades o áreas de distribución de un taxón, conectándolas con una línea llamada trazo individual, tomando como criterio de unión la distancia más corta entre una y otra localidades. De la coincidencia de dos o más trazos individuales se obtiene un trazo generalizado, que generalmente se interpreta como un componente biótico ancestral fragmentado por eventos físicos o geológicos. El área en donde dos o más trazos generalizados se intersectan o convergen se denomina nodo, y se interpreta como un espacio geográfico compuesto de fragmentos bióticos y geológicos ancestrales que entran en contacto, por lo que se le atribuye una alta riqueza o diversidad de taxones con afinidades geográficas diferentes, lo que los hace particularmente importantes para proponer áreas para conservación (Morrone y Crisci 1992, Grehan 1993, Craw *et al.* 1999, Heads 2004, Morrone 2004b, Contreras-Medina 2006).

Algunos estudios recientes (e.g. Luna *et al.* 2000, Morrone y Márquez 2001) sugieren que el análisis de parsimonia de endemismos (PAE) puede utilizarse para visualizar las relaciones históricas de las localidades estudiadas, pudiéndose así aplicar en análisis panbiogeográficos. El PAE (Rosen 1988) considera a las especies comunes a algunas de las áreas muestreadas como análogas a caracteres comunes derivados (sinapomorfías) en un análisis de sistemática filogenética, empleando el criterio de parsimonia y generando cladogramas de áreas que sugieren una relación común de la historia entre las áreas y sus especies; en este cladograma, cada clado obtenido puede ser considerado como un trazo generalizado (Craw *et al.* 1999, Luna *et al.* 2000, Morrone y Márquez 2001). Recientemente, algunos autores (Luna *et al.* 2000, García-Barros *et al.* 2002, García-Barros 2003) han propuesto una modificación al PAE llamada PAE-PCE (PAE con eliminación progresiva de caracteres, por sus siglas en inglés). El PAE-PCE es un procedimiento iterativo en el que cada

vez que se aplica un análisis de parsimonia y se obtiene un cladograma se eliminan las especies que definen cada clado y la matriz de datos resultante se analiza nuevamente (Escalante *et al.* 2005). El procedimiento termina cuando ya no hay sinapomorfías en los cladogramas. Luna *et al.* (2000) aplicaron el PAE-PCE con el objetivo de identificar áreas prioritarias para la conservación en términos panbiogeográficos. Otros estudios han utilizado el PAE-PCE para definir áreas de endemismo (Escalante *et al.* 2005) y para identificar trazos generalizados y nodos biogeográficos (Huidobro *et al.* 2006).

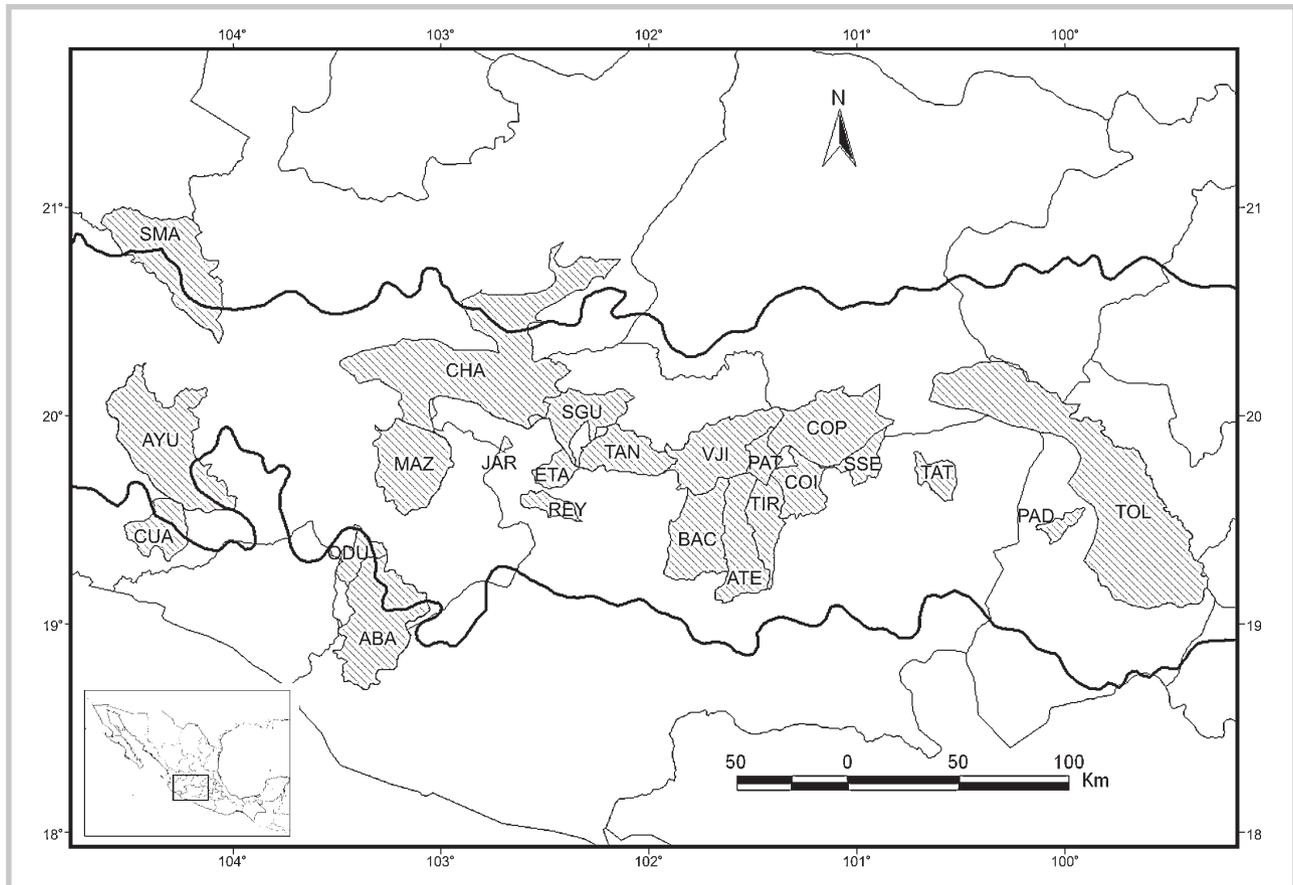
Algunos organismos de los cuerpos acuáticos epicontinentales de la FVT. El número de taxones dulceacuícolas endémicos en la FVT es relativamente alto (Espinosa-Pérez *et al.* 1998, Flores-Villela 1998, Lot y Ramírez-García 1998). En esta región habitan 35 de las 37 especies de peces dulceacuícolas de la familia Goodeidae, que es considerada una de las de mayor importancia en México (Gesundheit y Macías-García 2005). Recientemente se han documentado distintos aspectos de la historia natural de estos peces, incluyendo trabajos donde se registra la presencia de distintas especies de helmintos que los parasitan (ver Pineda-López *et al.* 2005). En varios de estos estudios se ha sugerido la existencia de un conjunto característico de helmintos que guardan una estrecha relación evolutiva, biogeográfica y ecológica (Pérez-Ponce de León *et al.* 2000; Salgado-Maldonado *et al.* 2001, 2004; Martínez-Aquino *et al.* 2004, en prensa; Martínez-Aquino 2005; Mejía-Madrid *et al.* 2005; Pineda-López *et al.* 2005). A su vez, estos organismos presentan una distribución en cuerpos de agua de la FVT que está determinada por distintos factores bióticos y abióticos, entre estos últimos se ha sugerido que existe una relación directa y positiva entre la diversidad de peces y la diversidad de las plantas acuáticas (Camargo-Guerra 2004).

Dado que los peces godeidos, los helmintos parásitos y las plantas acuáticas presentan estrechas interacciones ecológicas, en este trabajo pretendemos analizar la distribución de estos grupos biológicos bajo una perspectiva panbiogeográfica, con el fin de definir posibles cuerpos dulceacuícolas en la FVT, cuya complejidad biogeográfica permita considerarlos relevantes en términos de conservación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Áreas de estudio. Se utilizaron como unidades de análisis 23 subcuencas hidrológicas, propuestas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio 1998; www.conabio.gob.mx), ubicadas parcial o totalmente sobre la FVT (Fig. 1). Las subcuencas fueron seleccionadas tomando como criterio la existencia de al menos un registro de helminto parásito específico para godeidos, y con

Fig. 1. Subcuencas hidrológicas en la FVT. SMA, San Marcos; AYU, Ayuquila; CUA, Cuatitlán; CHA, Chapala; MAZ, Mazamitla; ODU, Ocotitlán-El Duenden; ABA, Ahuijillo-Barreras; SGU, San A. Guaracho-Urepetiro; JAR, Jaripitiro; ETA, E.T.A. 39 Tocums; REY, Los Reyes; TAN, Tanguacícuro; VJI, Villa Jiménez; BAC, Bacota; PAT, Puente San Isidro (Pátzcuaro); ATE, Alto Tecámbaro; COP, Copandero; TIR, Tiricato; COI, Cointzio; SSE, San Sebastián; TAT, Tatengueo; PAD, Palos Amarillos-Dolores Vaquerías; TOL, Toluca; línea gruesa, límite de la FVT.



ello asegurar en la subcuenca la presencia de por lo menos dos taxones endémicos. Por tanto, la elección de las subcuencas dependió de la existencia de información publicada sobre los taxones helmintológicos, ictiológicos y de plantas acuáticas. La mayoría de las subcuencas incluyó al menos una especie de cada uno de los tres grupos biológicos analizados; cuatro subcuencas dentro de la FVT (Los Reyes, Ocotitlán-El Duenden, San Marcos y Jaripitiro) no presentaron registros para plantas acuáticas.

Taxones analizados. Se seleccionaron 56 especies pertenecientes a tres grupos biológicos (peces godeidos, helmintos parásitos y plantas acuáticas) que se distribuyen principalmente en cuerpos de agua de la FVT. Los helmintos consistieron en siete especies de cuatro géneros incluidas en cuatro familias, los godeidos estuvieron representados por 29 especies pertenecientes a 12 géneros y las plantas incluyeron 20 especies de 17 géneros y 14 familias (Apéndice).

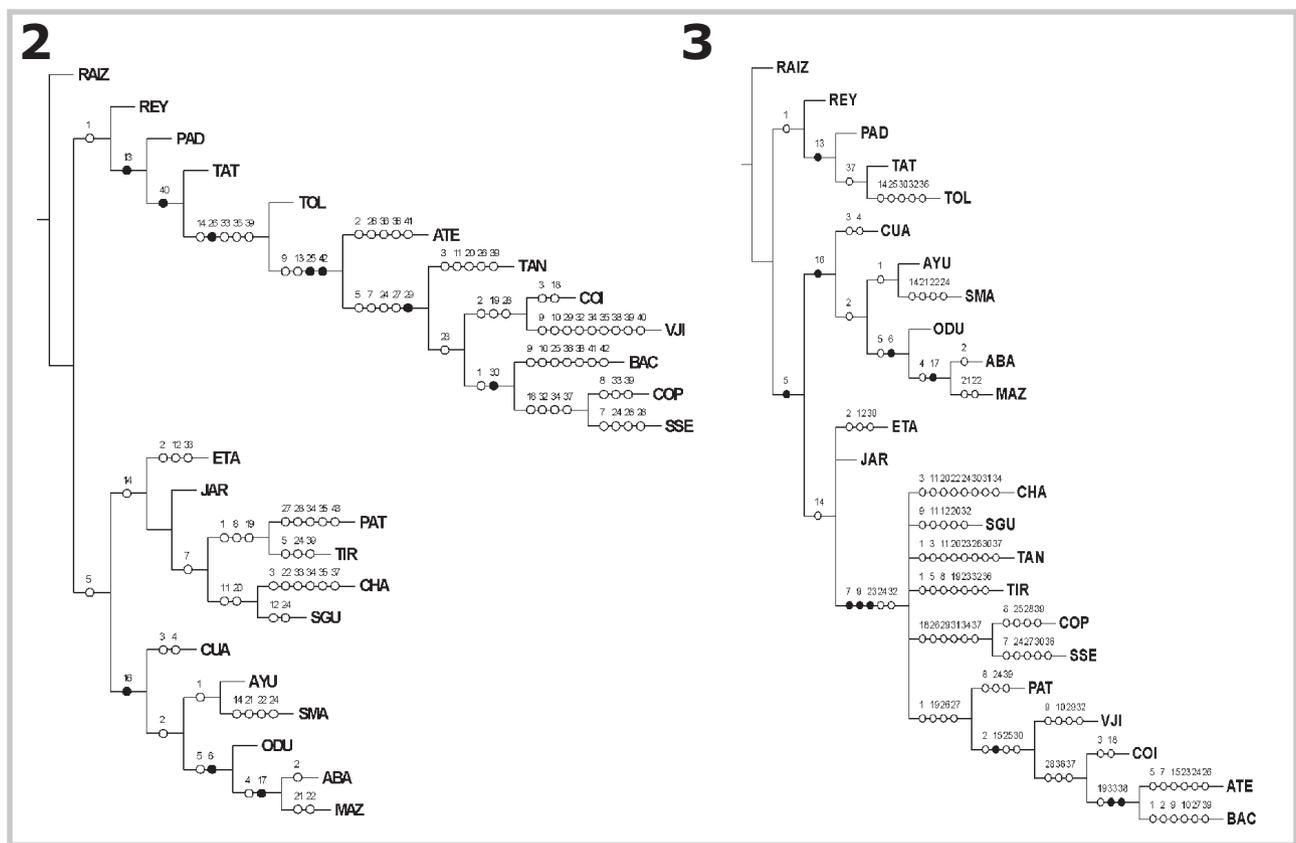
Se detectaron 13 especies registradas en una única subcuenca, las cuales no se consideraron en el análisis por no ser informativas para evaluar relaciones.

Fuente de los datos. Los datos de distribución geográfica fueron tomados de distintas fuentes. Para los peces de la familia Goodeidae se consultaron diversos trabajos filogenéticos, biogeográficos y de conservación (Webb *et al.* 2004, Domínguez *et al.* 2005a, b, Gesundheit y Macías-García 2005), así mismo se consultó la colección de peces del Museo de Zoología de la Universidad de Michigan (UMMZ), la cual es accesible en línea (www.neodat.org) a través de la base de datos NEODAT II. Los registros de distribución de los helmintos se derivaron de inventarios publicados (Salgado-Maldonado 2006). La distribución de las plantas acuáticas se obtuvo de Lot *et al.* (1999) y Camargo-Guerra (2004), así como también de la información en línea de los herbarios ENCB, IEB, LL, TEX, UAMIZ y XAL (acrónimos de acuerdo con Holm-

Cuadro II. Trazos generalizados y especies que los definen.

Trazo	Total spp.	Ejemplos
1	32	<i>Margotrema bravoae</i> , <i>M. guillerminae</i> , <i>Salsuginus</i> sp., <i>Alloophorus robustus</i> , <i>Chapalichthys encaustus</i> , <i>Skiffia lermiae</i> , <i>Bidens laevis</i> , <i>Eichhornia crassipens</i> y <i>Leersia hexandra</i>
2	31	<i>Margotrema guillerminae</i> , <i>Rhabdochona lichtenfelsi</i> , <i>Salsuginus</i> sp., <i>Allotoca dugesi</i> , <i>Xenotoca melanosoma</i> , <i>Hubbsina turneri</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Hydromystria laevigata</i> , <i>Nymphaea mexicana</i>

Figs. 2-3. 2, Cladograma obtenido del PAE; 3, cladograma obtenido del PAE-PCE.

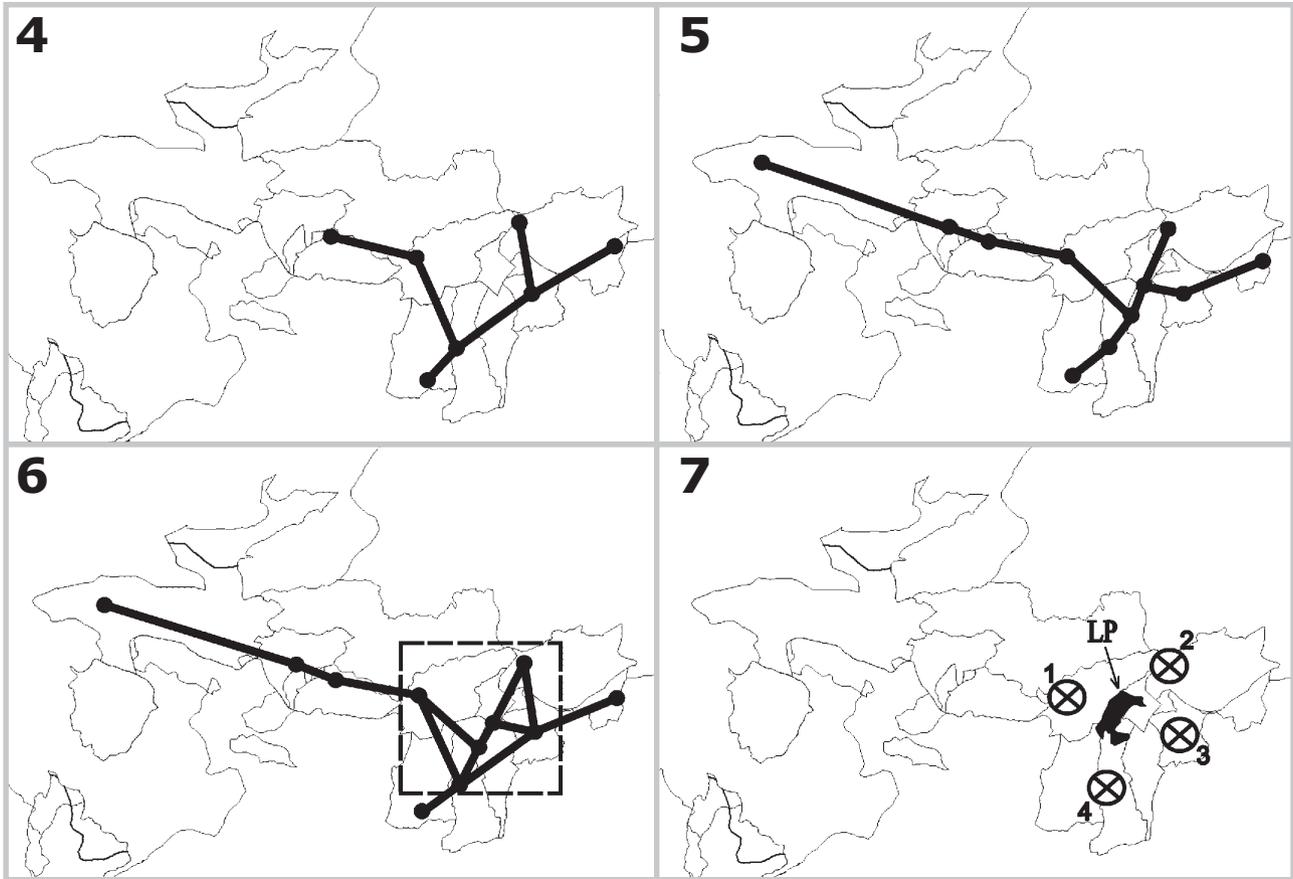


clado apoyado por al menos dos taxones. A partir del tercer análisis de PAE-PCE se obtuvieron dos trazos generalizados (Figs. 4-5). Ambos presentan ramificaciones y se extienden en sentido longitudinal, conectando distintos sistemas dulceacuícolas de la parte central de la FVT. Algunas ramificaciones de los trazos convergen en una zona, formando un polígono casi rectangular (Fig. 6), cuyas aristas están localizadas en cuerpos de agua que en este trabajo son considerados como nodos, y que se ubican en los lagos Zacapu al noroeste y Opopeo al suroeste y en los manantiales San Cristóbal al sureste y La

Mintzita al noreste (Fig. 7).

El análisis panbiogeográfico se realizó en un área geográfica relativamente pequeña comparándola con escalas mayores como continentes o regiones biogeográficas, por lo que la identificación de patrones a partir de trazos generalizados se complica debido a que éstos no resultan evidentes y su superposición se dificulta (Contreras-Medina 2006). Sin embargo, Luna *et al.* (2000) aplicaron exitosamente la combinación de métodos panbiogeográficos con el PAE-PCE en áreas geográficas pequeñas, a nivel de un estado del país, para detectar nodos. Aplicando

Figs. 4-7. 4, Trazo generalizado 1 obtenido a partir del PAE; 5, trazo generalizado 2 obtenido a partir del PAE-PCE; 6, polígono que demarca la zona biogeográficamente compleja (recuadro); 7, nodos. 1, Lago de Zacapu; 2, Manantial La Mintzita; 3, Manantial San Cristóbal; 4, Lago de Opopeo; LP, Lago de Pátzcuaro.



el mismo método, en este estudio detectamos nodos en escalas pequeñas (subcuencas), que nos permiten identificar zonas de convergencia geobiótica, es decir, taxones que presentan áreas de distribución simpátrida y ocupan espacios geográficos reducidos resultantes de eventos vicariantes (Morrone 2004b). A partir de la superposición de los dos trazos generalizados y la posición geográfica de los nodos, detectamos un polígono biogeográficamente complejo dentro del área de estudio, que se encuentra rodeando al lago de Pátzcuaro (Fig. 7). Los sistemas hidroclógicos del centro-occidente de México se originaron principalmente a partir de la actividad geológica y captura fluvial (DeCserna y Álvarez 1995). Los eventos vicariantes produjeron aislamientos que delimitaron claramente el área de distribución de taxones dulceacuícolas. Por ejemplo, se reconocen peces que se distribuyen únicamente en grandes sistemas lénticos (e.g. el “pescado blanco” de Pátzcuaro, *Chirostoma estor*) y otros que se distribuyen principalmente en pequeños sistemas lóuticos, como la mayor parte de las especies de la familia Goodeidae.

Al parecer, los hábitats específicos de los godeidos determinan la forma del polígono, al estar delimitado por lagos y manantiales.

Un elemento importante que contribuye a la identificación de áreas para conservar es el conocimiento de la biología de los organismos (Wilson 1992). Las interacciones biológicas representan un elemento estrechamente relacionado con la biodiversidad, debido a que se han detectado especies que requieren la presencia de otros organismos para estar presentes en un ecosistema (Werner 1986). En este sentido, los helmintos parásitos pueden aportar información muy valiosa para evaluar las condiciones ambientales de algunos ecosistemas acuáticos, y con ello identificar áreas con diversidad, debido a que contribuyen a detectar los niveles de interacción en las redes tróficas (Marcoglise 2003, 2005) y en el reconocimiento de la biodiversidad en un área específica, ya que la presencia en un sistema de determinadas especies de helmintos en abundancias normales se relaciona con poblaciones de invertebrados y vertebrados que intervienen en sus ciclos de vida y que actúan

como huéspedes intermediarios o definitivos.

Adicionalmente, las plantas acuáticas cumplen distintas funciones dentro de su ecosistema que promueven el establecimiento exitoso de taxones como los peces, debido a que funcionan como áreas de crianza, reproducción y refugio de diversas especies. Del mismo modo, muchos animales acuáticos se alimentan de los nutrientes que incorporan al sistema las plantas acuáticas y también se ven beneficiados cuando estas últimas eliminan algunas sustancias tóxicas que son vertidas por el hombre en los medios acuáticos (Lot y Ramírez-García 1998, Zambrano 2003). De esta manera, a través del tiempo se establecen relaciones estrechas entre las plantas acuáticas y los peces, que determinan la presencia o ausencia de un pez o peces específicos en cierta localidad, en función de la presencia o ausencia de determinada especie de planta acuática.

Nodos como posibles áreas de conservación. La confluencia o intersección de los trazos generalizados indica la presencia de áreas compuestas o nodos (Craw *et al.* 1999). Por esta razón, cada nodo detectado en este trabajo podría proponerse como un área a conservar. Dos de los nodos detectados, el manantial La Mintzita y el lago de Zacapu, presentan alta riqueza y elevado número de endemismos respecto de los otros dos nodos detectados (lago de Opopeo y manantial San Cristóbal) (Cuadro III). Los resulta-

dos derivados del presente análisis biogeográfico sugieren dos regiones con complejidad biológica y apuntan hacia la importancia de conservar estos sistemas, confirmando las propuestas previas de conservación de ambos cuerpos acuáticos (Medina-Nava *et al.* 2005), realizadas de manera intuitiva y enfocadas a la conservación de taxones endémicos.

Considerando los taxones analizados en el presente estudio, en el manantial La Mintzita existe registrada una riqueza de 20 especies (Cuadro III), de las cuales 12 son endémicas de la FVT. Entre los taxones que definen este nodo se encuentran tres especies de godeidos (*Allotoca duguesi*, *Hubbsina turneri* y *Skiffia bilineta*) que actualmente ya no habitan en La Mintzita, debido al fuerte impacto de actividades antropocéntricas que ha sufrido este manantial (Domínguez *et al.* 2005a). Ocho especies de plantas acuáticas y cuatro especies endémicas de helmintos parásitos se registran para La Mintzita. La simpatria de estos tres grupos refleja una estrecha red de interacciones ecológicas e históricas, que parece evidenciarse aplicando el análisis de trazos y que podría robustecerse al incluir otros taxones no analizados en este trabajo (e.g. herpetofauna acuática, crustáceos, moluscos y anélidos, entre otros), por lo que consideramos que el manantial La Mintzita es un área a conservar. El manantial tiene una dimensión espacial de 10 hectáreas (Medina-Nava *et al.* 2005), lo cual facilita una restauración ambiental

Cuadro III. Taxones que definen los nodos identificados. *, especies endémicas; **, especies registradas en una sola subcuenca; ***, especies extirpadas de la localidad.

Nodos	Subcuencas	Localidad de referencia	Taxones
1	Villa Jiménez	Lago de Zacapu, Michoacán	<i>Margotrema bravoae</i> *, <i>M. guillerminae</i> *, <i>Rhabdochona lichtenfelsi</i> *, <i>Allophorus robustus</i> *, <i>Allotoca zacapuensis</i> ***, <i>Goodea atripinnis</i> *, <i>Hubbsina turneri</i> ***, <i>Skiffia lermiae</i> *, <i>Xenotoca variata</i> *, <i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> *, <i>Berula erecta</i> , <i>Cerathophyllum demersum</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Hydromystria laevigata</i> , <i>Leersia hexandra</i> , <i>Lemma gibba</i> , <i>Potamogeton illinoensis</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i>
2	Cointzio	Manantial La Mintzita, Michoacán	<i>Margotrema bravoae</i> *, <i>M. guillerminae</i> *, <i>Rhabdochona lichtenfelsi</i> *, <i>Salsuginus</i> sp.*, <i>Allophorus robustus</i> *, <i>Allotoca duguesi</i> *, ***, <i>Goodea atripinnis</i> *, <i>Hubbsina turneri</i> *, ***, <i>Skiffia bilineata</i> *, ***, <i>S. lermiae</i> *, <i>Xenotoca variata</i> *, <i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> *, <i>Berula erecta</i> , <i>Bidens laevis</i> , <i>Cerathophyllum demersum</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Heteranthera reniformis</i> , <i>Hydrocotyle umbellata</i> , <i>Leersia hexandra</i> y <i>Mimulus glabratus</i>
3	Alto Tecambaro	Lago de Opopeo, Michoacán	<i>Margotrema bravoae</i> *, <i>M. guillerminae</i> *, <i>Allotoca duguesi</i> *, <i>A. meeki</i> ***, <i>Goodea atripinnis</i> *, <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Hydrocotyle umbellata</i> , <i>Leersia hexandra</i> , <i>Mimulus glabratus</i> , <i>Nymphaea mexicana</i> , <i>Potamogeton illinoensis</i> , <i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i> , <i>Sagittaria latifolia</i> , <i>S. longiloba</i> , <i>S. platyphylla</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i>
4	Copandaro	Manantial San Cristóbal, Michoacán	<i>Rhabdochona lichtenfelsi</i> *, <i>Allophorus robustus</i> *, <i>Goodea atripinnis</i> *, <i>Xenotoca variata</i> *, <i>Bidens laevis</i> , <i>Heteranthera reniformis</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Hydromystria laevigata</i> , <i>Lemma gibba</i> , <i>Mimulus glabratus</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Sagittaria latifolia</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i>

y vigilancia adecuadas en comparación con un sistema de mayores dimensiones. Estudios previos han señalado a La Mintzita como un lugar de gran importancia biológica, ya que cuenta con recargas hidrológicas de aguas naturales y promueve la riqueza de especies por su diversidad de hábitats (Medina-Nava *et al.* 2003). Por su alta diversidad de peces endémicos, La Mintzita ha sido considerada previamente como área para la conservación (Soto-Galera *et al.* 1999, Medina-Nava *et al.* 2005). Recientemente, la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del gobierno del estado de Michoacán decretó al manantial como Área Natural Estatal Protegida (Diario "La Jornada"; sección Estados, enero 30 de 2005, p. 34). El presente análisis complementa las propuestas previas de conservación del lugar, confirmando que La Mintzita es una localidad con relevancia para la conservación, ya que aloja una biota rica de distintas afinidades en la que se incluye un número considerable de taxones endémicos.

El análisis de los datos muestra que el lago de Zacapu incluye 19 especies, pero posee un número menor de especies endémicas (10) (Cuadro III). Al igual que en el caso de la Mintzita, este lago ha sido propuesto anteriormente como posible área a conservar por poseer distintos taxones endémicos como anfibios y peces dulceacuícolas (UICN 2004, Medina-Nava *et al.* 2005) y de hecho es una de las regiones hidrológicas prioritarias del país considerada por Conabio (Arriaga-Cabrera *et al.* 2000). Los resultados de este trabajo apoyan las propuestas previas de conservación del lago de Zacapu con base en la aplicación de métodos panbiogeográficos.

Problemas para la conservación. Los sistemas dulceacuícolas del centro de México se encuentran muy deteriorados por diversas actividades antropogénicas, las cuales han puesto en riesgo la integridad de estos ambientes e incluso han propiciado la desaparición de algunos taxones (De la Vega-Salazar *et al.* 2003, De la Vega-Salazar y Macías-García 2005, Domínguez *et al.* 2005b). Los cuerpos de agua La Mintzita y Zacapu no son una excepción, ya que actualmente presentan una serie de condiciones que ponen en riesgo la integridad del ambiente y que por tanto dificultan su conservación (e.g. extracción de agua por medio de pipas, obs. pers. 2003-2006).

Entre los problemas más amenazantes para la conservación de La Mintzita y el lago de Zacapu se encuentra la presencia de especies exóticas, como por ejemplo la planta acuática *Eichhornia crassipes* registrada tanto en La Mintzita como en Zacapu; ésta es una planta flotadora con alta abundancia que cubre gran parte de la superficie acuática y que modifica las condiciones ambientales (Medina-Nava *et al.* 2005). Así también se han introducido varias especies de peces dulceacuícolas: *Cyprinus carpio*, *Ctenopharyngodon idella*, *Micropterus salmoides*, *Oreochromis aureus*, *Poecilia reticulata* y *Algansea lacustris* (Medina-Nava *et al.* 2003, 2005), que de igual

forma reducen las posibilidades de supervivencia de las especies nativas, pues compiten efectivamente con las especies endémicas, o bien, como en el caso de las carpas, modifican de forma importante las características del hábitat a través de su comportamiento alimenticio (Zambrano 2003). Junto con la introducción de peces, particularmente carpas asiáticas, se ha introducido tanto en la Mintzita como en Zacapu el céstodo *Bothriocephalus acheilognathi* y se ha registrado parasitando peces godeidos (Mejía-Madrid *et al.* 2005, Salgado-Maldonado 2006). La presencia de este helminto parásito representa un problema potencial para las especies de godeidos y otros peces endémicos, pues su proliferación podría asociarse con una disminución en la posibilidad de supervivencia de estas especies (Salgado-Maldonado y Pineda-López 2003).

Además de las especies introducidas, los cuerpos de agua La Mintzita y Zacapu presentan los mismos problemas que la mayor parte de los sistemas hidrológicos del centro de México. Entre estos problemas se cuentan la extracción del agua, contaminación química, enturbiamiento del agua por la erosión de los márgenes y eutrofización, factores que en conjunto ejercen presión sobre la composición y supervivencia de especies de cada localidad (Zambrano 2003, De la Vega-Salazar y Macías-García 2005, Medina-Nava *et al.* 2005).

Perspectivas. Actualmente se cuenta con distintas propuestas para conservar diversos sistemas hidrológicos en el centro de México, incluidos el manantial La Mintzita y el lago de Zacapu. La mayor parte de estas propuestas está fundamentada en la conservación de taxones endémicos, particularmente ictiológicos (e.g. Contreras-MacBeath 2005, Domínguez *et al.* 2005a). Sin embargo, es necesario considerar que estos organismos habitan en un medio interactuando con elementos bióticos y abióticos, que una vez alterados pueden poner en riesgo a la especie que se pretende conservar, por lo que recientemente se ha discutido el considerar las características del medio como criterio para seleccionar áreas de conservación (Bonn y Gaston 2005). Proteger un espacio geográfico físico rico y complejo en especies, en el que habiten tanto taxones endémicos como de distribución más amplia, garantiza preservar las condiciones en las que los taxones se desenvuelven. En este sentido, el enfoque panbiogeográfico resulta de gran importancia, ya que al representar una síntesis entre sistemática, geología y ecología (Morrone y Crisci 1992), facilita la detección de patrones de distribución, haciendo evidentes las regiones compuestas que en términos de conservación incluyen un conjunto representativo de la biodiversidad. En este sentido, los cuerpos de agua de La Mintzita y Zacapu presentan una composición de especies que les confieren complejidad, de modo que futuros proyectos encaminados a la restauración de estos sistemas deben tomar en cuenta dicha

complejidad y establecer estrategias que permitan la preservación en abundancias normales de todos los taxones presentes en el área. De esta forma, además de beneficiar a los taxones endémicos, se promoverá la conservación de una fracción representativa de la biota y el conjunto de factores en la que ésta se desenvuelve.

Los resultados del presente estudio muestran la existencia de una zona biogeográficamente compleja en la parte central de la FVT, y confirman las posibles áreas a conservar sugeridas previamente (Medina-Nava *et al.* 2005). Esto hace evidente que se requiere de estudios multidisciplinarios que en conjunto aporten evidencia sólida sobre las ventajas de conservar ciertas regiones y que sirven de base para una adecuada toma de decisiones considerando que los recursos para la conservación en México son limitados (Contreras-MacBeath 2005).

CONCLUSIONES

Los estudios panbiogeográficos contribuyen a la búsqueda de áreas adecuadas para la conservación al hacer una valoración objetiva de la complejidad de especies de dichas áreas. Los sitios detectados en este trabajo (manantial La Mintzita y lago de Zacapu) son importantes tanto por el alto número de especies endémicas que incluyen, como por la compleja red de interacciones biológicas que éstas presentan con otras especies. Por tanto, el presente estudio denota la utilidad de los análisis biogeográficos como herramientas sólidas para la toma de decisiones en el ámbito de la conservación de la diversidad biológica.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Isolda Luna, Juan J. Morrone y David Espinosa por la invitación a participar en este libro y por sus sugerencias. Así también agradecemos a Andrea J. Roth Monzón, Griselda Moreno y Sandra Córdoba la revisión crítica y comentarios a una primera versión del manuscrito. AMA agradece a CONACyT por el apoyo proporcionado mediante una beca para realizar estudios de maestría dentro del Programa de Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM. RAA agradece el apoyo financiero en forma de beca para estancia postdoctoral otorgada por la Dirección General de Personal Académico (DGAPA) de la UNAM.

LITERATURA CITADA

ÁLVAREZ-MONDRAGÓN E. y J.J. MORRONE. 2004. Propuesta de áreas para la conservación de aves de

México, empleando herramientas panbiogeográficas e índices de complementariedad. *Interciencia* 92: 112-120.

ARRIAGA-CABRERA L., V. AGUILAR-SIERRA y J. AL-COCER-DURAND. 2000. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.

BONN A. y K.J. GASTON. 2005. Capturing biodiversity: Selecting priority areas for conservation using different criteria. *Biodiv. Conserv.* 14: 1083-1100.

CAMARGO-GUERRA T. 2004. Relación entre la vegetación acuática y la abundancia y diversidad de peces en manantiales de la cuenca del Lerma (Michoacán). Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F.

CAVIERES L.A., M.T.K. ARROYO, P. POSADAS, C. MARTICORENA, O. MATTHEI, R. RODRÍGUEZ, F.A. SQUEO y G. ARANCIO. 2002. Identification of priority areas for conservation in an arid zone: Application of parsimony analysis of endemism in the vascular flora of the Antofagasta region, northern Chile. *Biodiv. Conserv.* 11: 1301-1311.

CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD). 1998. "Subcuencas hidrológicas". Extraído de Boletín Hidrológico. (1970). Subcuencas hidrológicas en Mapas de regiones hidrológicas. Escala más común 1: 1 000 000. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Jefatura de Irrigación y control de Ríos, Dirección de Hidrología. México, D.F.

CONTRERAS-MACBEATH T. 2005. Analysis of the conservation of freshwater fish species in Mexico with emphasis on viviparous species. En: Uribe M.C. y H. Grier (eds.). *Viviparous fishes*. New Life Publications. Homestead, Florida. pp. 401-414.

CONTRERAS-MEDINA R. 2006. Los métodos de análisis biogeográfico y su aplicación a la distribución de las gimnospermas de México. *Interciencia* 31: 176-182.

CRAW R.C., J.R. GREHAN y M.J. HEADS. 1999. *Panbiogeography: Tracking the history of life*. Oxford University Press, Oxford.

CROIZAT L. 1958. *Panbiogeography*. Publicado por el autor, Caracas.

CROIZAT L. 1964. *Space, time, form: The biological synthesis*. Publicado por el autor, Caracas.

DE LA VEGA-SALAZAR M.Y., E. ÁVILA-LUNA y C. MACÍAS-GARCÍA. 2003. Ecological evaluation of local extinction: The case of two genera of endemic Mexican fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia*. *Biodiv. Conserv.* 12: 2043-2056.

DE LA VEGA-SALAZAR M.Y. y C. MACÍAS-GARCÍA. 2005. Principal factors in the decline of the Mexican endemic viviparous fishes (Goodeinae: Goodeidae). En: Uribe M.C. y H. Grier (eds.). *Viviparous fishes*. New Life Publications. Homestead, Florida. pp. 505-513.

DE CSERNA Z. y R. ÁLVAREZ. 1995. Quaternary drainage development in central Mexico and the threat of an environmental disaster: A geological appraisal. *Environm. Engin. Geosci.* 1: 29-34.

- DOMÍNGUEZ D.O., N. MERCADO-SILVA y J. LYONS. 2005a. Conservation status of Mexican goodeids: Problems, perspectives and solutions. En: Uribe M.C. y H. Grier (eds.). *Viviparous fishes*. New Life Publications. Homestead, Florida. pp. 515-523.
- DOMÍNGUEZ D.O., N. MERCADO-SILVA, J. LYONS y H. GRIER. 2005b. The viviparous goodeid fishes. En: Uribe M.C. y H. Grier (eds.). *Viviparous fishes*. New Life Publications. Homestead, Florida. pp. 525-569.
- ESCALANTE T. 2003. Determinación de prioridades en las áreas de conservación para los mamíferos terrestres de México, empleando criterios biogeográficos. *An. Inst. Biol UNAM, Ser. Zool.* 74: 211-237.
- ESCALANTE T., G. RODRÍGUEZ y J.J. MORRONE. 2005. Las provincias biogeográficas del componente mexicano de montaña desde la perspectiva de mamíferos continentales. *Rev. Mex. Biodiv.* 76: 199-205.
- ESPADAS-MANRIQUE C., R. DURÁN y J. ARGÁEZ. 2003. Phytogeographic analysis of taxa endemic to the Yucatán Peninsula using geographic information systems, the domain heuristic method and parsimony analysis of endemism. *Divers. Distrib.* 9: 313-330.
- ESPINOSA D. y J.J. MORRONE. 2000. On the integration of track and cladistic methods for selecting and ranking areas for biodiversity conservation. *J. Comp. Biol.* 3: 171-175.
- ESPINOSA-PÉREZ H., P. FUENTES-MATA, M.T. GASPARDILLANES y V. ARENAS. 1998. Notas acerca de la ictiofauna mexicana. En: Ramamoorthy T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México D.F. pp. 227-250.
- ESRI. 2000. ArcView GIS Versión 3.2a. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands.
- FERRUSQUÍA-VILLAFRANCA I. 1998. Geología de México: Una sinopsis. En: Ramamoorthy T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México D.F. pp. 3-108.
- FLORES-VILLELA O. 1998. Herpetofauna de México: Distribución y endemismo. En: Ramamoorthy T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México D.F. pp. 251-278.
- GARCÍA-BARROS E. 2003. Mariposas diurnas endémicas de la región Paleártica occidental: Patrones de distribución y su análisis mediante parsimonia (Lepidoptera, Papilionoidea). *Graellsia* 59: 233-258.
- GARCÍA-BARROS E., P. GURREA, M.J. LUCIÁÑEZ, J.M. CANO, M.L. MUNGUIRA, J.C. MORENO, H. SAINZ, M.J. SANZ y J.C. SIMÓN. 2002. Parsimony analysis of endemism and its application to animal and plant geographical distributions in the Ibero-Balearic region (western Mediterranean). *J. Biogeogr.* 29: 109-124.
- GESUNDHEIT M.P. y C. MACÍAS-GARCÍA. 2005. Biogeografía cladística de la familia Goodeidae (Cyprinodontiformes). En: Llorente J. y J.J. Morrone (eds.). *Regionalización biogeográfica en Iberoamérica y tópicos afines: Primeras Jornadas Biogeográficas de la Red Iberoamericana en Biogeografía y Entomología Sistemática (RIBES XII.I-CYTED)*. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México D.F. pp. 319-338.
- GOLOBOFF P. 1999. NONA (no name), versión 2. Publicado por el autor. San Miguel de Tucumán.
- GREHAN J.R. 1993. Conservation biogeography and the biodiversity crisis: A global problem in space/time. *Biodiv. Lett.* 1: 134-140.
- HALFFTER G. 2003. Biogeografía de la entomofauna de montaña de México y América Central. En: Morrone J.J. y J. Llorente (eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F. pp. 87-98.
- HEADS M. 2004. What is a node? *J. Biogeogr.* 31: 1883-1891.
- HOLMGREN P.K., N.H. HOLMGREN y L.C. BARNETT. 1990. *Index herbariorum*. ed. 8ª. New York Botanical Garden. Nueva York.
- HUIDOBRO L., J.J. MORRONE, J.L. VILLALOBOS y F. ÁLVAREZ. 2006. Distributional patterns of freshwater taxa (fishes, crustaceans and plants) from the Mexican Transition Zone. *J. Biogeogr.* 33: 731-741.
- LOT A. y P. RAMÍREZ-GARCÍA. 1998. Diversidad de la flora acuática mexicana. En: Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.). *Diversidad biológica de México: Orígenes y distribución*. Instituto de Biología, UNAM, México D.F. pp. 563-578.
- LOT A., A. NOVELO, M. OLVERA y P. RAMÍREZ-GARCÍA. 1999. *Catálogo de angiospermas acuáticas de México. Hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes*. Cuadernos 33. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F.
- LUNA I., O. ALCÁNTARA, J.J. MORRONE y D. ESPINOSA. 2000. Track analysis and conservation priorities in the cloud forests of Hidalgo, Mexico. *Divers. Distrib.* 6: 137-143.
- LUNA I., O. ALCÁNTARA y R. CONTRERAS-MEDINA. 2004. Patterns of diversity, endemism and conservation: An example with Mexican species of Ternstroemiaceae Mirb. ex DC. (Tricolpates: Ericales). *Biodiv. Conserv.* 6: 137-143.
- MARCOGLISE D.J. 2003. Food webs and biodiversity: Are parasites the missing link? *J. Parasitol.* 89: S106-S113.
- MARCOGLISE D.J. 2005. Parasites of the superorganism: Are they indicators of ecosystem health? *Int. J. Parasitol.* 35: 705-716.
- MARTÍNEZ-AQUINO A. 2005. Biogeografía de helmintos parásitos de peces de la familia Goodeidae (Pisces: Cyprinodontiformes) del centro de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- MARTÍNEZ-AQUINO A., G. SALGADO-MALDONADO, R. AGUILAR-AGUILAR, G. CABAÑAS-CARRANZA y M.P. ORTEGA-OLIVARES. 2004. Helminth parasites of *Chapalichthys encaustus* (Pisces: Goodeidae), an endemic freshwater fish from Lake Chapala, Jalisco, México. *J. Parasitol.* 90: 889-890.
- MARTÍNEZ-AQUINO A., G. SALGADO-MALDONADO, R. AGUILAR-AGUILAR, G. CABAÑAS-CARRANZA y C. MENDOZA-PALMERO. En prensa. Helminth para-

- site communities of *Characodon audax* and *C. lateralis* (Pisces: Goodeidae), endemic freshwater fish species from Durango, México. *Southwest. Nat.*
- MEDINA-NAVA M., T. ZUBIETA-ROJAS y J.P. RAMÍREZ-HERREJÓN. 2003. Estructura de la comunidad de peces de La Mintzita, Morelia, Michoacán, Cuenca Lerma-Chapala. *Biológicas* 5: 19-27.
- MEDINA-NAVA M., J. LYONS, T. ZUBIETA-ROJAS, E. SOLORIO-ORNELAS, J.P. RAMÍREZ-HERREJÓN y R. GALVÁN-MORALES. 2005. Conservation of two sites in Central Mexico with a high diversity of livebearing fishes. En: Uribe M.C. y H. Grier (eds.). *Viviparous fishes*. New Life Publications. Homestead, Florida. pp. 499-504.
- MEJÍA-MADRID H., O. DOMÍNGUEZ y G. PÉREZ-PONCE DE LEÓN. 2005. Adult endohelminth parasites of Goodeinae (Cyprinodontiformes: Goodeidae) from Mexico with biogeographical considerations. *Comp. Parasitol.* 72: 200-211.
- MÉNDEZ-LARIOS I., J.L. VILLASEÑOR, F. LIRA, J.J. MORRONE, P. DÁVILA y E. ORTIZ. 2005. Toward the identification of a core zone in the Tehuacán-Cuicatlán biosphere reserve, Mexico, based on parsimony analysis of endemicity of flowering plant species. *Interciencia* 30: 267-274.
- MILLER R.R. y L.L. SMITH. 1986. Origin and geography of the fishes of central Mexico. En: Hocutt C.H. y E.O. Wiley (eds.). *The zoogeography of North American freshwater fishes*. John Wiley and Sons, Inc. Nueva York, pp. 487-517.
- MORRONE J.J. 1999. How can biogeography and cladistics interact for the selection of areas for biodiversity conservation? A view from Andean weevils (Coleoptera: Curculionidae). *Biogeographica* 75: 89-96.
- MORRONE J.J. 2000. La importancia de los atlas biogeográficos para la conservación de la biodiversidad. En: Martín-Piera F., J.J. Morrone y A. Melic (eds.). *Hacia un Proyecto CYTED para el Inventario y Estimación de la Diversidad Entomológica en Iberoamérica*. PrIBES Monografías Tercer milenio, número 1, Zaragoza.
- MORRONE J.J. 2004a. *Homología biogeográfica: Las coordenadas espaciales de la vida*. Cuadernos del Instituto de Biología 37, Instituto de Biología, UNAM, México D.F.
- MORRONE J.J. 2004b. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Rev. Bras. Entomol.* 48: 149-162.
- MORRONE J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Rev. Mex. Biodiv.* 76: 207-252.
- MORRONE J.J. y J.V. CRISCI. 1992. Aplicación de métodos filogenéticos y panbiogeográficos en la conservación de la diversidad biológica. *Evol. Biol.* 6: 53-66.
- MORRONE J.J. y J.V. CRISCI. 1993. El retorno a la historia y la conservación de la diversidad biológica. En: Goin F. y R. Goñi (eds.). *Elementos de política ambiental*. Sección IV, Capítulo 29, Cámara de Diputados de la provincia de Buenos Aires, La Plata. pp. 361-365.
- MORRONE J.J. y D. ESPINOSA. 1998. La relevancia de los atlas biogeográficos para la conservación de la biodiversidad mexicana. *Ciencia* 49: 12-16.
- MORRONE J.J. y J. MÁRQUEZ. 2001. Halffter's Mexican Transition Zone, beetle generalized tracks, and geographical homology. *J. Biogeogr.* 28: 635-650.
- NELSON G. y P.Y. LADIGES. 1990. Biodiversity and biogeography. *J. Biogeogr.* 17: 559-560.
- NIXON K.C. 2002. WinClada. 1.00.08. Publicado por el autor, Ithaca, Nueva York.
- PÉREZ-PONCE DE LEÓN, G., L. GARCÍA-PRIETO, V. LEÓN-RÉGAGNON y A. CHOUDHURY. 2000. Helminth communities of native and introduced fishes in Lake Pátzcuaro, Michoacán, Mexico. *J. Fish Biol.* 57: 303-325.
- PLATNICK N.L. 1992. Patterns of biodiversity. En: Eldredge N. (ed.). *Systematics, ecology, and the biodiversity crisis*. Columbia University Press, Nueva York. pp. 15-24.
- PINEDA-LÓPEZ R., G. SALGADO-MALDONADO, E. SOTO-GALERA, N. HERNÁNDEZ-CAMACHO, A. OROZCO-ZAMORANO, S. CONTRERAS-ROBLEDOS, G. CABAÑAS-CARRANZA y R. AGUILAR-AGUILAR. 2005. Helminth parasites of viviparous fishes in Mexico. En: M.C. Uribe y H. Grier (eds.). *Viviparous fishes*. New Life Publications Homestead, Florida. pp. 437-456.
- POSADAS P. y D.R. MIRANDA-ESQUIVEL. 1999. El PAE (Parsimony analysis of endemicity) como una herramienta en la evaluación de la biodiversidad. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 72: 539-546.
- POZO C. y J. LLORENTE. 2001. La teoría del equilibrio insular en biogeografía y bioconservación. En: Llorente J. y J.J. Morrone (eds.). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F. pp. 95-106.
- ROJAS-PARRA C.A. 2005. Automatización del método de la panbiogeografía: Identificación de centros de diversidad. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM, México, D.F.
- ROSEN B.R. 1988. From fossils to Earth history: Applied historical biogeography. En: Myers A. y P.S. Giller (eds.). *Analytical biogeography: An integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Chapman and Hall, Londres. pp. 437-481.
- RZEDOWSKI J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Bot. Mex.* 14: 3-21.
- SALGADO-MALDONADO G. 2006. Checklist of helminth parasites of freshwater fishes from Mexico. *Zootaxa* 1324: 1-357.
- SALGADO-MALDONADO G., G. CABAÑAS-CARRANZA, E. SOTO-GALERA, J.M. CASPETA-MANDUJANO, R.G. MORENO-NAVARRETE, P. SÁNCHEZ-NAVA y R. AGUILAR-AGUILAR. 2001. A checklist of helminth parasites of freshwater fishes from the Lerma-Santiago River Basin, Mexico. *Comp. Parasitol.* 68: 204-218.
- SALGADO-MALDONADO G. y R. PINEDA-LÓPEZ. 2003. The Asian fish tapeworm *Bothriocephalus acheilognathi*: A potential threat to native freshwater fish species in Mexico. *Biol. Inv.* 5: 261-268.
- SALGADO-MALDONADO G., N. MERCADO-SILVA, G. CABAÑAS-CARRANZA, J.M. CASPETA-MANDU-

JANO, R. AGUILAR-AGUILAR y L.I. ÑIGUEZ-DÁVALOS. 2004. Helminth parasites of freshwater fishes of the Ayuquila River, Sierra de Manantlán Biosphere Reserve, West Central Mexico. *Comp. Parasitol.* 71: 67-72.

SOTO-GALERA E., J. PAULO-MAYA, E. LÓPEZ-LÓPEZ y J.A. SERNA-HERNÁNDEZ. 1999. Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia-Lago de Cuitzeo Basin, Mexico. *Environ. Manag.* 24: 133-140.

UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (IUCN). 2004. Red list of threatened species 2004. The IUCN Species Survival Commission (www.redlist.org), Gland.

VILLASEÑOR J.L., J.A. MEAVE, E. ORTIZ y G. IBARRA-MANRÍQUEZ. 2003. Biogeografía y conservación de los bosques tropicales húmedos de México. En: Morrone J.J. y J. Llorente (eds.). *Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía*. Las Prensas de Ciencias, UNAM, México, D.F. pp. 209-216.

WEBB S.A., J.A. GRAVES, C. MACÍAS-GARCÍA, A.E. MAGURRAN, D.O. FOIGHIL y M.G. RITCHIE. 2004. Molecular phylogeny of the live-bearing Goodeidae (Cyprinodontiformes). *Mol. Phylog. Evol.* 30: 527-544.

WERNER E. 1986. Species interactions in freshwater fish communities. En: Diamond J. y T. Case (eds.). *Community ecology*. Harper & Row Publishers, Inc, Nueva York. pp. 344-357.

WILSON E.O. 1992. *La diversidad de la vida*. Ed. Crítica, Barcelona.

ZAMBRANO L. 2003. La restauración de ríos y lagos. *Ciencias* 72: 37-43.

APÉNDICE. Lista de taxones analizados. Números, columnas de la matriz de datos; *, taxones registrados en una sola subcuena.

Helmintos

Allocreadiidae Stossich, 1904

1. *Margotrema bravoae* Lamothe-Argumedo, 1970

Margotrema sp.*

2. *M. guillerminae* Pérez-Ponce de León, 2001

Girodactylidae Cobbold, 1864

Gyrodactylus cf. *elegans* Nordman, 1832*

Dactylogiridae Bychowsky, 1933

3. *Salsuginus* sp.

Rhabdochoniidae Travassos, Artigas y Pereira, 1928

4. *Rhabdochona ahuehuellensis* Mejía-Madrid y Pérez-Ponce de León, 2003

5. *R. lichtenfelsi* Sánchez-Álvarez, García y Pérez-Ponce de León 1998

Peces

Goodeidae (Goodeinae)

6. *Allodontichthys hubbsi* Miller y Uyeno, 1980

A. tamazulae Turner, 1945*

A. zonistius Hubbs, 1932*

A. polylepis Rauchenberger, 1988*

7. *Allophorus robustus* Bean, 1892

8. *Allotoca diazi* Meek, 1902

9. *A. dugesi* Bean, 1887

A. goslinei Smith y Miller, 1987*

A. maculata Smith y Miller, 1980*

A. meeki Álvarez, 1959*

A. regalis Álvarez, 1959*

Allotoca sp.*

10. *A. zacapuensis* Meyer, Radda y Domínguez, 2001

11. *Chapalichthys encaustus* Jordan y Snyder, 1899

12. *C. pardalis* Álvarez, 1963

13. *Girardinichthys multiradiatus* Meek, 1904

14. *Goodea atripinnis* Jordan, 1880

15. *Hubbsina turneri* De Buen, 1940

Ilyodon cortesae Paulo-Maya y Trujillo-Jiménez, 2000*

16. *I. furcidens* Jordan y Gilbert, 1882

17. *I. whitei* Meek, 1904

18. *Skiffia bilineata* Bean, 1887

19. *S. lermiae* Meek, 1902

20. *S. multipunctata* Pellegrin, 1901

Xenotaenia resolanae Turner, 1946*

21. *Xenotoca eiseni* Rutter, 1896

22. *X. melanosoma* Fitzsimons, 1972

23. *X. variata* Bean, 1887

34. *Zoogoneticus quitzeoensis* Bean, 1898

Plantas acuáticas

Alismataceae

40. *Sagittaria latifolia* Willd.

S. longiloba Engelm.*

41. *S. platyphylla* Engelm.

Araceae

37. *Pistia stratiotes* L.

Ceratophyllaceae

27. *Ceratophyllum demersum* L.

Compositae

26. *Bidens laevis* (L.) Britton, Sterns y Poggenb.

Cruciferae

39. *Rorippa nasturtium-aquaticum* L. Hayer

Cyperaceae

42. *Schoenoplectus americanus* Pers Volk

Gramineae

33. *Leersia hexandra* Sw.

Hydrocharitaceae

32. *Hydromystris laevigata* Hum. Bonpl. Willd. Hunz.

Lemnaceae

34. *Lemna gibba* L.

Nymphaeaceae

36. *Nymphaea mexicana* Zucc.

Pontederiaceae

28. *Eichhornia crassipes* Mart. Solms-Laub

29. *Heteranthera reniformis* Ruiz, López, Pavon

Potamogetonaceae

38. *Potamogeton illinoensis* Moroni

Scrophulariaceae

35. *Mimulus glabratus* Kunth

Typhaceae

43. *Typha latifolia* L.

Umbelliferae

25. *Berula erecta* Huns Coville

31. *Hydrocotyle umbellata* L.

30. *H. ranunculoides* L.