Cuadernos de Biodiversidad

Cuadernos de Biodiversidad 63 (2022): 30-39 ISSN: 2254-612X DOI:10.14198/cdbio.20790

# La importancia de los endemismos de vertebrados en el bosque mesófilo de montaña en México: una notable diversidad en un ambiente altamente amenazado

## The importance of vertebrate endemics in the cloud forest in Mexico: a remarkable diversity in a highly threatened environment

Raciel Cruz-Elizalde*[1], Leticia M. Ochoa-Ochoa[2], Oscar A. Flores-Villela[3]

[1] Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
cruzelizalde@gmail.com

[2] leticia.ochoa@ciencias.unam.mx

[3] ofvq@unam.mx

*Autor de correspondencia

Raciel Cruz-Elizalde

Leticia M. Ochoa-Ochoa

Oscar A. Flores-Villela

Recibido: 31/08/2021
Aceptado: 10/06/2022
Publicado: 04/07/2022

© 2022 Raciel Cruz-Elizalde, Leticia M. Ochoa-Ochoa, Oscar A. Flores-Villela

Licencia:
Este trabajo se publica bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.

Cómo citar:
Cruz-Elizalde, R., Ochoa-Ochoa, L.M., Flores-Villela, O.A. (2022). La importancia de los endemismos de vertebrados en el bosque mesófilo de montaña en México: una notable diversidad en un ambiente altamente amenazado *Cuadernos de Biodiversidad* (63), 30-39. https://doi.org/10.14198/cdbio.20790

## RESUMEN

El bosque mesófilo de montaña (BMM) es un ambiente altamente rico en especies de flora y fauna en México. La notable diversidad de especies resalta aún más cuando se analizan también los endemismos en este ambiente. En el presente estudio se describe la importancia de endemismos de vertebrados terrestres en México, considerando los grupos de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Asimismo, se realiza un compendio de las principales causas que afectan tanto a la diversidad biológica como al mantenimiento de las áreas con BMM en México. En el BMM podemos encontrar un alto número de especies y endemismos de anfibios (231 especies y 118 endemismos), reptiles (310 especies, 146 endemismos), aves (547 especies, 72 endemismos) y mamíferos (257 especies, 85 endemismos). Las regiones del Sureste de México, como Chiapas y Oaxaca, contienen tanto la mayor riqueza de especies como de endemismos. Estos endemismos resultan prioritarios a la hora de establecer medidas y estrategias de conservación, ya que muchos de estos presentan una distribución geográfica reducida, siendo microendémicos, lo cual, aunado a los distintos factores antrópicos que reducen las áreas actuales de BMM, pone en peligro a sus poblaciones. Los factores ecológicos, conductuales, morfológicos, fisiológicos y ambientales determinan esta riqueza de especies, lo cual resalta aún más la prioridad de conservar grandes extensiones de bosque mesófilo. Factores como la fragmentación o el cambio climático promueven la disminución de las áreas con este tipo de vegetación, representando una problemática a la hora de planificar estrategias de conservación a corto y medio plazo. Distintas agencias de conservación han desarrollado métricas para establecer categorías de riesgo por especie, destacando la NOM-059 de la SEMARNAT o la Lista Roja de la IUCN, agencias que representan las principales vías para establecer medidas de conservación de especies endémicas y nativas de México.

**Palabras clave**: *Efecto antrópico; conservación; diversidad; vertebrados terrestres; amenazas.*

## ABSTRACT

The cloud forest (CF) is an environment highly rich in species of flora and fauna in Mexico. The remarkable diversity of species stands out even more when the level of endemism in this environment is also analyzed. The present study describes the importance of endemic terrestrial vertebrates in Mexico, considering the groups of amphibians, reptiles, birds and mammals. Likewise, a compendium of the main causes that affect both the biological diversity and the maintenance of the areas with CF in Mexico is presented. In the CF we can find both a high species richness and high number of endemic species of amphibians (231 species, 118 endemic), reptiles (310 species, 146 endemic), birds (547 species, 72 endemic) and mammals (257 species, 85 endemic). Southeastern regions of Mexico such as Chiapas and Oaxaca contain both the highest species richness and the highest number of endemic species. These endemic species are a priority when establishing conservation measures and strategies, since many of them have a reduced geographical distribution, being microendemic, which, together with the different anthropic factors that reduce the current areas of CF, endangering their populations. Ecological, behavioral, morphological, physiological and environmental factors determine this species richness, which further highlights the priority of conserving large areas of cloud forest. Factors such as fragmentation or climate change promote the reduction of areas with this type of vegetation, representing a problem when planning conservation strategies in the short and medium term. Different conservation agencies have developed metrics to establish risk categories by species, for example, the NOM-059 of the SEMARNAT and the IUCN Red List, agencies that represent the main ways to establish conservation measures for endemic and native species of Mexico.

**Keywords**: *Anthropic effect; conservation; diversity; terrestrial vertebrates; threats.*

## GENERALIDADES

El bosque mesófilo de montaña (BMM) es un ambiente altamente rico en especies, tanto de vertebrados como de grupos de plantas o insectos (Ochoa-Ochoa *et al.*, 2017). La notable diversidad que contiene este tipo de vegetación es equiparable con ambientes tropicales; sin embargo, el BMM contiene elementos de flora y fauna que lo hacen único, esto debido en mayor medida a la ubicación y condiciones de temperatura, precipitación o humedad que presenta (Toledo-Aceves *et al.*, 2011).

Un alto número de especies presenta, en las áreas de montaña, sus límites en la distribución de sus poblaciones (Wiens & Donoghue, 2004), lo que ha sido atribuido a distintos factores, dentro de los que se encuentra la poca capacidad de dispersión de las especies (Arita & Rodríguez, 2002), los intervalos de tolerancia a las condiciones del hábitat que ocupan (por ejemplo, temperatura y precipitación; Chen *et al.*, 2011), así como a factores bióticos asociados a los individuos como son la competencia, depredación o la combinación de distintos factores ecológicos (Lomolino *et al.*, 2006; Sexton *et al.*, 2009).

En este sentido, en grupos de vertebrados como anfibios, reptiles, aves y mamíferos, un importante número de géneros y especies son característicos de ambientes templados, y en particular del BMM. Según datos de Flores-Villela & Gerez (1994), cerca de 23% de especies de vertebrados que ocurren en Mesoamérica se pueden encontrar en este ambiente, sin embargo, este porcentaje ha aumentado, en la actualidad, debido, en gran medida, a los estudios regionales dedicados a inventariar diversos grupos de vertebrados (Almazán-Núñez *et al.*, 2018) y a la descripción de nuevas especies en todos los grupos (Romo-Vázquez *et al.*, 2005; Jiménez-Arcos *et al.*, 2019).

En este trabajo, se describe, a grandes rasgos y sin pretender ser una revisión exhaustiva de la basta literatura sobre BMM, la importancia de este hábitat para el mantenimiento de la riqueza de especies de vertebrados en México, así como el número de endemismos y, por último, las zonas de mayor importancia tanto por la riqueza de especies como por los endemismos.

## EL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN MÉXICO

En México, la mayor extensión de bosque mesófilo (Figura 1) se encuentra en las regiones de la Sierra Madre Oriental, la Sierra Norte de Oaxaca, la Sierra Madre del Sur, las montañas del Norte de Chiapas y la Sierra Madre de Chiapas (González-Espinosa *et al.*, 2011) (Figura 2). En menor extensión, se puede encontrar en la región de Los Tuxtlas, Serranías de Nayarit, Cuenca del Balsas y la zona Oriente de la Sierra Madre Oriental (González-Espinosa *et al.*, 2011). Las condiciones ambientales de este tipo de vegetación en México son muy características, ya que altitudinalmente se sitúa entre los 1500 y 2500 m preferentemente, pero se ha reportado que puede ocurrir de los 600 a los 3200 m (Luna *et al.*, 2001).

Figura 1: Vista del bosque mesófilo de montaña en la porción de la Sierra Madre Oriental, Tenango de Doria, Hidalgo (México) (Foto: Raciel Cruz Elizalde).

Al ser un bosque con alta concentración de nubes y neblina, la precipitación anual en localidades de bosque mesófilo no desciende de los 1000 mm, y a menudo excede los 1500 mm y en algunas áreas excede los 3000 mm, con una temperatura media anual que puede variar de 12 a 23°C (Rzedowski, 1996). Estas áreas son más húmedas que los bosques de pino, pino-encino y encino, más cálidas que los bosques de coníferas de altura y más frías que las que sustentan el desarrollo de formaciones vegetales tropicales (Rzedowski, 1996; Ochoa-Ochoa *et al.*, 2017).

## RIQUEZA DE ESPECIES

Hasta la fecha, pocos estudios se aproximan a dar una cifra cercana a la realidad en cuanto a la riqueza de especies de vertebrados en BMM, a diferencia de la flora, la cual está más completa (Gonzáles-Espinosa *et al.*, 2011). Diversos estudios regionales han sido realizados en las áreas con presencia de BMM, como, por ejemplo, en el centro de México, región Huasteca de Hidalgo y Veracruz. Además, la mayoría de los estudios faunísticos han sido realizados hacia el Sureste de México, en los estados de Chiapas y Oaxaca, mostrando, dichos estudios, la gran riqueza de especies de anfibios (Cruz-Elizalde *et al.*, 2022), reptiles (Simón-Salvador *et al.*, 2021), aves y mamíferos (Almazán-Núñez *et al.*, 2018). En este sentido, y de forma histórica se han mencionado un número de 183 especies de anfibios, 249 reptiles, 547 aves y 257 mamíferos (Sánchez-González *et al.*, 2008; Ponce-Reyes *et al.*, 2012). Esta riqueza de especies está asociada también al número de estudios realizados por regiones, ya que a pesar de que el BMM se puede encontrar hasta las Serranías de Nayarit o Montañas del Sureste de Michoacán (Toledo-Aceves *et al.*, 2011), en estas regiones no se tiene un mayor número de estudios en comparación con las porciones de BMM del centro y sureste de México (Ponce-Reyes *et al.*, 2012; Almazán-Núñez *et al.*, 2018).

Figura 2: Mapa que muestra la distribución del bosque mesófilo de montaña en México (en verde, las áreas que presentan bosque mesófilo en México). Tomado y modificado de INEGI (2022) (Mapa: Israel Moreno Lara).

## ENDEMISMOS DE VERTEBRADOS

El número de endemismos en el BMM es notablemente alto en distintos grupos de vertebrados terrestres. Esto es de esperar, ya que estos grupos presentan, en México, una alta riqueza de especies (Flores-Villela & Gerez, 1994). Diversos autores han registrado, a través del tiempo, el número de endemismos por grupo en el BMM, donde Flores-Villela & Gerez (1994) mostraban las cifras más actuales hasta ese momento. Es a través del tiempo, y gracias a diversos estudios regionales, principalmente de estudios faunísticos, que se logra incrementar la cifra de especies, y por lo tanto el conocimiento del número de endemismos por grupo en el BMM (Ochoa-Ochoa & Flores-Villela, 2006; Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

El BMM presenta en el grupo de anfibios, cerca de 231 especies, de las cuales 118 (51.08%) son endémicas y ocurren en este ambiente. En los reptiles, de las 310 especies registradas, el BMM contiene 146 especies endémicas de México, lo que representa el 47% de la riqueza registrada (Cruz-Elizalde *et al.*, 2022). En el caso de las aves, de las 547 especies referidas, en endemismos al BMM son 72 especies (13%) y, finalmente, en mamíferos, de las 257 especies, 85 son endémicas, lo que representa el 33% (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014).

Estos altos valores de especies endémicas que se dan en el BMM, se deben a diversos factores, tanto morfológicos, ecológicos como conductuales. Por ejemplo, en el caso de los anfibios y reptiles, se explican por la poca capacidad de desplazamiento de las especies de estos grupos, además de las condiciones del microhábitat (temperatura y humedad) que favorecen la endemicidad de las especies (Vitt & Caldwell, 2009). Por lo tanto, en el BMM, se pueden encontrar diversas especies de la familia de salamandras Plethodontidae, muchas de las cuales tienen una distribución restringida en este ambiente (Wake, 1987). Dentro de estas, se encuentran especies como *Thorius adelos* (Papenfuss & Wake, 1987), *C. alvarezdeltoroi* (Papenfuss & Wake, 1987), *Dendrotriton megarhinus* (Rabb, 1960) o *D. xolocalcae* (Taylor, 1941); en el caso de los anuros, las familias Hylidae, Craugastoridae o Bufonidae contienen un alto número de endemismos, tales como las especies *Plectrohyla avia* Stuart, 1952, *P. guatemalensis* Brocchi, 1877, *P. ixil* Stuart, 1942, *P. robertsorum* (Taylor, 1940), o especies con distribución preferentemente en el BMM como *Aquiloeurycea cephalica* Cope, 1865 (Figura 3A), entre otras (Duellman, 1999).

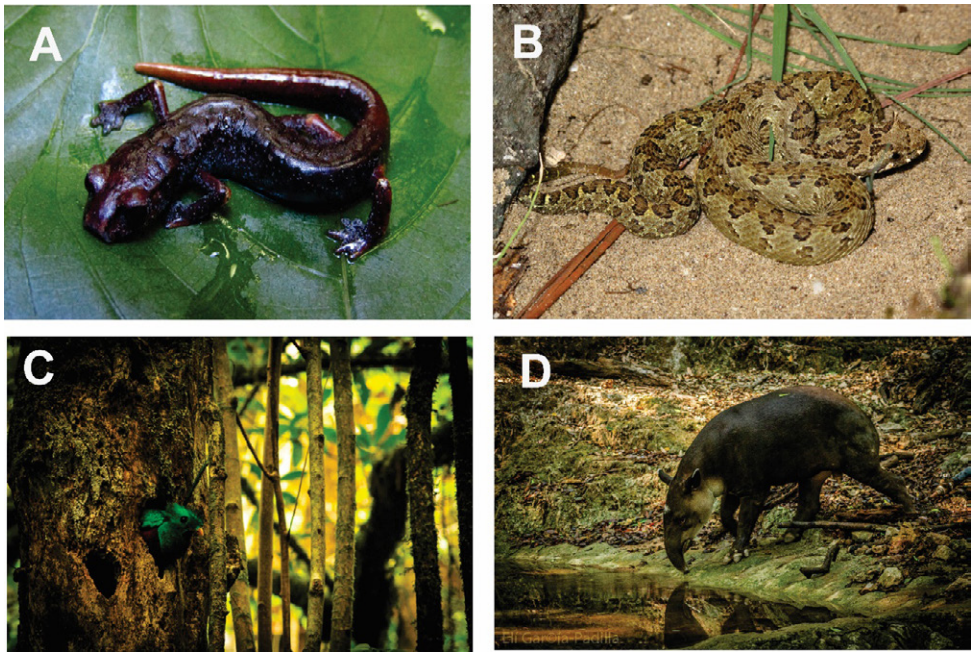


Figura 3: Algunas especies de vertebrados representativas del bosque mesófilo en México: la salamandra *Aquiloeurycea cephalica* (A), la serpiente *Ophryacus smaragdinus* (B), el quetzal *Pharomachrus mocinno* (C), y el tapir *Tapirus bairdii* (D) (Fotos: A, Raquel Hernández Austria; B, Raciel Cruz Elizalde; C y D, Elí García Padilla).

A una escala geográfica más grande, el mayor número de endemismos de estos grupos ocurre en las regiones de Oaxaca y Chiapas, ya que muchas especies que ocurren en estas áreas son microendémicas (Wilson *et al.*, 2013). Esto es también explicado por el mayor número de estudios regionales sobre inventarios faunísticos, con los que se ha determinado la riqueza de especies en estas regiones del sureste de México, la identificación de especies endémicas a este ambiente, y estudios filogenéticos que confirman que en estas regiones se presentan los centros de radiación de diversos grupos de anfibios (Rovito *et al.*, 2015). Dentro de los reptiles, diversas lagartijas del género *Xenosaurus* Peters, 1961, *Lepidophyma* Duméril, 1851 o *Plestiodon* Duméril & Bibron, 1839, o serpientes como *Ophryacus smaragdinus* Grünwald, Jones, Franz-Chávez & Ahumada-Carrillo, 2015 (Figura 3B) son endémicas de estas regiones, tanto de BMM en México como en Oaxaca y Chiapas. Por ejemplo, gran cantidad de lagartijas del género *Abronia* Gray, 1838 son microendémicas, y presentan poblaciones con baja densidad, lo que las hace prioritarias a la hora de establecer medidas y estrategias de conservación (Campbell & Frost, 1993 ; Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2021).

En el caso de las aves, y a pesar de que se ha registrado una notable riqueza de especies para el BMM (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014), México cuenta con un bajo número de endemismos, además de ocupar el octavo lugar en cuanto a endemismos ornitológicos, a diferencia de las regiones de Centroamérica, que poseen mayores valores. Dentro de los endemismos de aves, destacan aquellos que son de distribución restringida como *Lophornis brachylophus* Moore, 1949, *Cyanolyca mirabilis* Nelson, 1903, o *Eupherusa cyanophrys* Rowley & Orr, 1964, registradas en zonas reducidas de Guerrero y Oaxaca (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2011), especies representativas como el quetzal *Pharomachrus mocinno* (De la Llave, 1832) (Figura 3C) o especies de distribución más amplia como *Catharus occidentalis* Sclater, 1859, *Dendrortyx macroura* (Jardine & Selby, 1828) o *Streptoprocne semicollaris* (DeSaussure, 1859), registradas en zonas montañosas del este, centro y sureste de México (Navarro-Sigüenza *et al.*, 2009). En el caso de otros grupos biológicos como los anfibios y reptiles, en ciertas regiones de México, los BMM son zonas de un importante número de endemismos para estos grupos. Este patrón se da también en el caso de las aves, ya que las zonas con un alto número de endemismos corresponden a la Sierra Madre Oriental, la cual presenta grandes extensiones de BMM y, en particular, la región correspondiente a Puebla. Asimismo, y a diferencia de los anfibios y reptiles, que presentan poca capacidad de dispersión, las aves pueden ocupar grandes extensiones de territorio. Esto explica también el bajo número de endemismos de aves en el BMM respecto a otros grupos de vertebrados (Sánchez-González *et al.*, 2008).

En el caso de los mamíferos, destacan aquellos endemismos de grupos de especies de talla pequeña (González-Ruíz *et al.*, 2014), de los cuales los géneros *Hodomys* Merriam, 1894, *Megasorex* Hibbard, 1950, *Osgoodomys* Hooper & Musser, 1964, *Pappogeomys* Merriam, 1895, *Tlacuatzin* Voss & Jansa, 2003 y *Nelsonia* Merriam, 1897 tienen una amplia distribución en México y viven en el BMM (Hamilton *et al.*, 1995). Un ejemplo representativo de las especies de mayor distribución, que, si bien no son endémicos del BMM, pero viven preferentemente en este, es el jaguar [*Panthera onca* (Linnaeus, 1758)], considerado una especie sombrilla por su potencial en la conservación de otras especies, o el caso del tapir [*Tapirus bairdii* (Gill, 1865)] (Figura 3D). Un caso particular es el género *Megadontomys* Merriam, 1898, el cual es representado por tres especies de ratones y están restringidos solo al BMM. En general, las especies del orden Rodentia son las que le dan a México y, en particular, al BMM los altos valores de endemicidad en mamíferos, a diferencia de murciélagos, los cuales, debido a su capacidad de dispersión, no representan grupos endémicos con presencia primordial en el BMM (León-Paniagua *et al.*, 2004). A pesar de que los mamíferos de talla pequeña y terrestres, como los roedores, representan el mayor número de endemismos, los mamíferos de talla grande resultan también importantes, ya que, por ejemplo, especies como el jaguar o el puma ocupan grandes extensiones de vegetación natural, lo que a su vez favorece la presencia y el mantenimiento de poblaciones de mamíferos endémicos y de distribución restringida (Ceballos & Rodríguez, 1993).

## CAUSAS DE LA PÉRDIDA DE ESPECIES

Diversos factores causan la pérdida de especies, destacando la fragmentación del hábitat, la pérdida de cobertura vegetal, la introducción de especies exóticas o no nativas, así como aquellos factores relacionados con la contaminación, caza y tráfico ilegal (Ochoa-Ochoa *et al.*, 2009; Cruz-Elizalde *et al.*, 2017). Si bien estos factores están presentes en todos los ecosistemas del mundo y, en particular, en áreas boscosas de México (es decir, áreas tropicales y templadas), en el BMM resulta aún más alarmante, ya que la fragmentación, pérdida de cobertura vegetal y transformación del hábitat han diezmado la extensión de este tipo de vegetación (Ponce-Reyes *et al.*, 2012; Ochoa-Ochoa *et al.*, 2017). Por lo anterior, es alarmante que el BMM ocupe menos del 1% del territorio nacional, en estimaciones de cambio climático se pronostica que su extensión se verá aún más reducida para el año 2080, por causa del calentamiento global y la continua fragmentación del hábitat (Ponce-Reyes *et al.*, 2012).

Por grupos, existen ciertos factores que disminuyen drásticamente las poblaciones naturales, y los cuales no necesariamente repercuten en los otros grupos. Por ejemplo, en anfibios, la presencia de enfermedades tales como el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* Longcore, Pessier and Nichols, 1999, el cual ha afectado y causado la pérdida de diversas poblaciones de anfibios anuros (Mendoza-Almeralla *et al.*, 2015, 2016). La contaminación, por su parte, también ha limitado y provocado la pérdida de cuerpos de agua saludables, sitios donde ocurre la reproducción, cortejo y ovoposición de puestas de anuros. En reptiles, el tráfico ilegal de especies, como las lagartijas de los géneros *Abronia* (Moreno-Lara *et al.*, 2022) o *Xenosaurus*, es de los principales factores que han afectado a estas especies, ya que muchas de estas aparecen en sitios restringidos de BMM (Flores-Villela *et al.*, 2010). Asimismo, la aniquilación de reptiles, principalmente serpientes, por los habitantes de las comunidades rurales y periurbanas donde se presenta el BMM, disminuye notablemente la densidad de las poblaciones de este grupo (Magno-Benítez *et al.*, 2016).

Para aves y mamíferos, la pérdida de cobertura vegetal, así como la disminución de áreas de bosque, son las principales amenazas a su diversidad de especies. Por ejemplo, en las regiones de mayor extensión de BMM, como Oaxaca y Chiapas, diversos estudios como el de Ponce-Reyes *et al.* (2012) muestran que un alto número de especies desaparecerá de estas zonas hacia el año 2080, producto de la pérdida de vegetación y el efecto del cambio climático. La deforestación es un problema generalizado en Latinoamérica, pero en el caso de México, y en el BMM, impacta de mayor forma, ya que las áreas de BMM conservado han disminuido drásticamente.

## MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

Las medidas de conservación para las áreas de BMM y, en particular, para las especies que en él habitan y sus endemismos son diversas. Dentro de las principales medidas está el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP; CONANP, 2017), donde se busca proteger extensas zonas de vegetación, así como las especies de flora y fauna que éstas contienen. Los corredores biológicos de la Sierra Madre Oriental, y sitios terrestres prioritarios para la conservación ubicados en los estados de Oaxaca y Chiapas resultan los prioritarios a la hora de evaluar dichas medidas de conservación. Esto es debido a que, en estas regiones, se ubican las mayores extensiones de BMM, así como la mayor tasa de deforestación y pérdida de vegetación (Ponce-Reyes *et al.*, 2012).

A nivel nacional, la legislación y normatividad de protección de flora y fauna tiene en la NOM-059 de la SEMARNAT la principal medida para determinar el estatus de conservación de los cuatro grupos biológicos. Esta normativa establece la categorización de las especies con base en distintos parámetros poblacionales, de distribución o de endemicidad (DOF, 2010). Aunado a esta, se encuentra a nivel internacional, la lista roja de la IUCN, la cual establece, en función de las densidades poblaciones y distribución, categorías de amenaza para cada especie, principalmente las endémicas (IUCN, 2020). Las especies endémicas al BMM representan elementos prioritarios a la hora de establecer planes y gestión de la conservación. Por ejemplo, especies de salamandras, lagartijas, pequeños ratones o aves

de distribución restringida, presentarían los mayores valores de priorización, ya que además presentan poblaciones bajas (Wilson *et al.*, 2013).

Si bien las normativas nacionales e internacionales establecen las categorías de conservación o grado de amenaza para las especies, aquellas donde aún se desconocen muchos aspectos de su historia natural o distribución siguen siendo ignoradas en dichas normativas (Cruz-Elizalde *et al.*, 2017). Una manera para aminorar en lo posible esta situación, es el continuo estudio de las áreas de BMM, principalmente, el diseño de muestreos en campo para documentar la diversidad de especies que contiene. Estos muestreos son la base del conocimiento para inventariar y generar listas de especies en sitios poco explorados y el registro de endemismos (Ochoa-Ochoa *et al.*, 2009; Caviedes-Solis *et al.*, 2015).

México presenta, en Latinoamérica, una alta extensión de BMM, la cual está siendo altamente amenazada por distintos factores antrópicos, como el cambio de uso del suelo, la contaminación o la pérdida de cobertura vegetal (González-Espinosa *et al.*, 2011). Esta pérdida de cobertura vegetal resalta la importancia de centralizar los estudios en ciertas regiones de BMM, particularmente en dos vías. Por una parte, realizar estudios de listados faunísticos en regiones poco exploradas como las Serranías de Nayarit, las zonas montañosas del Sureste de Michoacán, la Cuenca Alta del Balsas o la región de la Sierra Madre del Sur y Franja Neovolcánica de Jalisco (Toledo-Aceves *et al.*, 2011). Lo anterior es debido a que, a pesar de presentar extensiones importantes de vegetación, las regiones han sido poco exploradas, además que la gran mayoría de estudios filogenéticos o de inventarios faunísticos están dirigidos a las regiones del sureste de México, y en particular a las ANP.

Por otro lado, focalizar los esfuerzos de conservación en las regiones de mayor cobertura vegetal, ya que es en estos sitios (sureste y centro de México) es donde actualmente se tiene el mejor conocimiento sobre la riqueza, diversidad y endemismos de vertebrados terrestres (Gual-Díaz & Rendón-Correa, 2014). De la misma forma, es en estas regiones del sureste de México donde se ubican las Reservas de la Biósfera La Sepultura, El Triunfo y Montes Azules, ANP con altos porcentajes de cobertura de BMM. Asimismo, un alto número de estudios filogeográficos con grupos de vertebrados han indicado que estas regiones son consideradas como centros de diversificación, generando, con esto, centros de especiación (Rovito *et al.*, 2015; Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2021).

México, como país megadiverso y con una compleja orografía, es notablemente rico en especies, endemismos y alto recambio biológico entre regiones. Las regiones de montaña y, en particular, el BMM destacan porque son heterogéneas, considerando los factores ambientales y generando con esto diversos nichos disponibles, refugios y condiciones favorables para el aislamiento y adaptación divergente, lo cual promueve la coexistencia, persistencia y diversificación de las especies de vertebrados terrestres (Stein *et al.*, 2014).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Livia León Paniagua, Adolfo G. Navarro Sigüenza, J. Meave del Castillo, M. Romero-Romero y R. Rivera-Reyes por el apoyo logístico. RCE agradece el apoyo a través del Programa de Becas Posdoctorales de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA, Universidad Nacional Autónoma de México). A los dos revisores anónimos que mediante sus observaciones y comentarios mejoraron la versión final del manuscrito.

## REFERENCIAS

Almazán-Núñez, R.C., Alvarez-Alvarez, E.A., Ruiz-Gutiérrez, F., Almazán-Juárez, A., Sierra-Morales, P. & Toribio-Jiménez, S. (2018). Biological survey of a cloud forest in southwestern Mexico: plants, amphibians, reptiles, birds, and mammals. *Biota Neotropica*, 18: e20170444. https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2017-0444

Arita, H.T. & Rodríguez, P. (2002). Geographic range, turnover rate and the scaling of species diversity. *Ecography*, 25: 541-553. https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250504.x

Campbell, J.A. & Frost, D.R. (1993). Anguid lizards of the genus *Abronia*: revisionary notes, descriptions of four new species, a phylogenetic analysis, and key. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 216: 1-121.

Caviedes-Solis, I.W., Vázquez-Vega, L.F., Solano-Zavaleta, I., Pérez-Ramos, E., Rovito, S. M., Devitt, T.J., Heimes, P., Flores-Villela, O.A., Campbell, J.A. & Nieto Montes de Oca, A. (2015). Everything is not lost: recent records, rediscoveries, and range extensions of Mexican hylid frogs. *Mesoamerican Herpetology*, 2: 230-241.

Ceballos, G. & Rodríguez, P. (1993). Diversidad y conservación de los mamíferos de México: II. Patrones de endemicidad. En: Medellín, R.A. & Ceballos, G. (eds.), *Avances en el estudio de los mamíferos de México*. Asociación Mexicana de Mastozoología, Publicaciones Especiales, México. pp. 87-108.

Chen, S., Jang, G., Zhang, J., Li, Y. & Qian, H. (2011). Species turnover of amphibians and reptiles in eastern China: disentangling the relative effects of geographic distance and environmental difference. *Ecological Research*, 26: 949-956. https://doi.org/10.1007/s11284-011-0850-3

CONANP. (2017). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, ¿Qué hacemos? http://www. conanp.gob.mx/que_hacemos [fecha de consulta: 9 abril 2020]

Cruz-Elizalde, R., Ramírez-Bautista, A., Aguillón-Gutiérrez, D.R., Magno-Benítez, I. & Hernández-Austria, R. (2017). Principales amenazas para la biodiversidad y perspectivas para su manejo y conservación en el estado de Hidalgo: El caso de los anfibios y reptiles. En: Ramírez-Bautista, A., Sánchez-González, A., Sánchez-Rojas, G. & Cuevas-Cardona, C. (eds.), *Biodiversidad del Estado de Hidalgo*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, Hidalgo, México, pp. 577-590.

Cruz-Elizalde, R., Ochoa-Ochoa, L.M., Flores-Villela, O.A. & Velasco, J.A. (2022). Taxonomic distinctiveness and phylogenetic variability of amphibians and reptiles in the cloud forest of Mexico. *Community Ecology*, 23: 87-102. https://doi.org/10.1007/s42974-022-00075-w

DOF (Diario Oficial) (2010). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. 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. México. 77 pp.

Duellman, W.E. (1999). Global distribution of amphibians: patterns, conservation, and future challenges. En: Duellman, W. E. (ed.), *Patterns of distribution of amphibians*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, pp. 111-210.

Flores-Villela, O., Canseco-Márquez, L. & Ochoa-Ochoa, L.M. (2010). Geographic distribution and conservation of the Mexican central highlands herpetofauna. En: Wilson, L.D., Townsend, J.H. & Johnson, J.D. (eds.), *Conservation of the Mesoamerican Amphibians and Reptiles*. Eagle Mountain Publishing, L.C., Eagle Mountain, Utah, pp. 303-321.

Flores-Villela, O.A. & P. Gerez. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. Comisión para el Conocimiento y Usp de ña Biodiversidad (CONABIO)-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Mexico City. 439 pp.

González-Espinosa, M., Meave, J.A., Lorea-Hernández, F.G., Ibarra-Manríquez, G. & Newton, A. C. (2011). *The Red List of Mexican cloud forest trees*. Fauna and Flora International. Cambridge. U.K. 125 pp.

González-Ruiz, N., Ramírez-Pulido, J. & Gual-Díaz, M. (2014). Mamíferos del bosque mesófilo de montaña en México. En: Gual-Díaz, M. & Rendón-Correa A. (eds.), *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. pp. 305-326.

Gual-Díaz, M. & Rendón-Correa, A. (2014). *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 352 pp.

Gutiérrez-Rodríguez, J., Zaldivar-Riverón, A., Solano-Zavaleta, I., Campbell, J.A., Meza-Lázaro, R.N., Flores-Villela, O. & Nieto-Montes de Oca, A. (2021). Phylogenomics of the Mesoamerican alligator-lizard genera *Abronia* and *Mesaspis* (Anguidae: Gerrhonotinae) reveals multiple independent clades of arboreal and terrestrial species. *Molecular Phylogenetics and Evolution,* 154: 106963. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106963

Hamilton, L.S., Juvik, J.O. & Scatena, F.N. (1995). *Tropical Montane Cloud Forest*. Series Ecological Studies. Springer-Verlag. N.Y. 265 pp.

INEGI. (2022). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000: serie VI*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 204 pp.

IUCN. (2020). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015.4. http://www.iucnredlist.org [fecha de consulta: 12 abril 2020]

Jiménez-Arcos, V.H., Calzada-Arciniega, R.A., Alfaro-Juantorena, L.A., Vázquez-Reyes, L. D., Blair, C. & Parra-Olea, G. (2019). A new species of *Charadrahyla* (Anura: Hylidae) from the cloud forest of 684 western Oaxaca, Mexico. *Zootaxa*, 4554: 371-385. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4554.2.3.

León-Paniagua, L., García-Trejo, E., Arroyo-Cabrales, J. & Castañeda-Rico, S. (2004). Patrones biogeográficos de la mastofauna. En: Luna, I., Morrone, J.J. & Espinosa, D. (eds.), *Biodiversidad de la Sierra Madre Oriental*. CONABIO-UNAM-Las Prensas de Ciencias, México. pp. 469-486.

Lomolino, M.V., Riddle, B.R. & J.H. Brown. (2006). *Biogeography*. Sinauer Associates. U.S.A. 752 pp.

Luna, I., Velázquez, A. & Velázquez, E. (2001). México. En: Kappelle, M. & Brown, A.D. (eds.), *Bosques Nublados del Neotrópico,* Instituto Nacional de Biodiversidad. Heredia, Costa Rica. pp. 183-229.

Magno-Benítez, I., Ramírez-Bautista, A. & Cruz-Elizalde, R. (2016). Diversidad de especies de anfibios y reptiles en dos ambientes, natural y antropizado en el estado de Hidalgo, México. En: Ramírez-Bautista A. & Pineda-López, R. (eds.), *Fauna Nativa en Ambientes Antropizados*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro. México. pp. 97-105.

Mendoza-Almeralla, C., Burrowes, P. & Parra-Olea, G. (2015). La quitridiomicosis en los anfibios de México: una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86: 238-248. https://doi.org/10.7550/rmb.42588

Mendoza-Almeralla, C., López-Velázquez, A., Longo, A.V. & Parra-Olea, G. (2016). Temperature treatments boost subclinical infections of *Batrachochytrium dendrobatidis* in a Mexican salamander (*Pseudoeurycea leprosa*). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87: 171-179. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.01.020

Moreno-Lara, I., Cruz-Elizalde, R., Suazo-Ortuño, I. & Ramírez-Bautista A. (2022). El tráfico de lagartijas emblemáticas del género *Abronia* (Squamata: Anguidae). *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 5: 44-53. https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.2.29

Navarro-Sigüenza, A.G., Gordillo-Martínez, A. & Peterson, A.T. (2009). Mapeando la diversidad de las aves de México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 12: 59-64.

Navarro-Sigüenza, A.G., Lira-Noriega, A., Arizmendi, M.C., Berlanga, H., Koleff, P., García-Moreno, J. & Peterson, A.T. (2011). Áreas de conservación para las aves de México: integrando criterios de priorización. En: CONABIO-CONANP (Coords.), *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-Comisión de Áreas Naturales Protegidas, México. pp. 108-129.

Navarro-Sigüenza, A. G., Gómez-de Silva, H., Gual-Díaz, M., Sánchez-González, L.A. & Pérez-Villafaña, M. (2014). La importancia de las aves del bosque mesófilo de montaña de México. En: Gual-Díaz, M. & Rendón-Correa A. (eds.), *Bosques mesófilos de montaña de México: diversidad, ecología y manejo*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México. pp. 279-304.

Ochoa-Ochoa, L.M. & Flores-Villela, O.A. (2006). *Áreas de diversidad, endemismo de la herpetofauna mexicana*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Mexico City, 211 pp.

Ochoa-Ochoa, L.M., Mejía-Domínguez, N.R. & Bezaury-Creel, J. (2017). Priorización para la Conservación de los Bosques de Niebla en México. *Ecosistemas*, 26: 27-37. https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-2.04

Ochoa-Ochoa, L., Urbina-Cardona, J.N., Vázquez, L.B., Flores-Villela, O. & Bezaury-Creel, J. (2009). The effects of governmental protected areas and social initiatives for land protection on the conservation of Mexican amphibians. *PLoS ONE*, 4: e6878. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006878

Ponce-Reyes, R., Reynoso-Rosales, V.H., Watson, J.E.M., Van Der Wal, J., Fuller, R.A., Pressey, R.L. & Possingham, H.P. (2012). Vulnerability of cloud forest reserves in México to climate change. *Nature, Climate Change*, 1453: 1-5. https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1453

Romo-Vázquez, E., León-Paniagua, L. & Sánchez, O. (2005). A new species of *Habromys* (Rodentia: Neotominae) from México. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 118: 605-618. https://doi.org/10.2988/0006-324X(2005)118[605:ANSOHR]2.0.CO;2

Rovito, S.M., Parra-Olea, G., Recuero, E. & Wake, D.B. (2015). Diversification and biogeographical history of Neotropical plethodontid salamanders. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 175: 167-188. https://doi.org/10.1111/zoj.12271

Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora fanerogámica de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, 35: 25-44.

Sánchez-González, L.A., Morrone, J.J. & Navarro-Sigüenza, A.G. (2008). Distributional patterns of the Neotropical montane forest avifaunas. *Biological Journal of the Linnean Society*, 94: 175-194. https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2008.00979.x

Sexton, J.P., McIntyre, P.J., Angert, A.L. & Rice, K.J. (2009). The evolution and Ecology of geographic range limits. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 40: 415-436. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120317

Simón-Salvador, P.R., Arreortúa, M., Flores, C.A., Santiago-Dionicio, H. & González-Bernal, E. (2021). The role of Indigenous and Community Conservation Areas in herpetofauna conservation: a preliminary list for Santa Cruz Tepetotutla, Oaxaca Mexico. *ZooKeys*, 1029: 185208. https://doi.org/10.3897/zookeys.1029.62205

Stein, A., Gerstner, K. & Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, 17: 866-880. https://doi.org/10.1111/ele.12277

Toledo-Aceves, T., Meave, J.A., González-Espinosa, M. & Ramírez-Marcial, N. (2011). Tropical montane cloud forests: current threats and opportunities for their conservation and sustainable management in Mexico. *Journal of Environmental Management*, 92: 974-981. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.007.

Vitt, L. J. & Caldwell, J.P. (2009). *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. Academic Press, Burlington, Massachusetts, U.S.A. 720 pp.

Wake, D.B. (1987). Adaptive radiation of salamanders in Middle American cloud forest. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 74: 242-264. https://doi.org/10.2307/2399397

Wiens, J.J. & Donoghue, M.J. (2004). Historical biogeography, ecology and species richness. *Trends in Ecology & Evolution*, 19: 639-644. https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.011

Wilson, L.D., Mata-Silva, V. & Johnson, J.D. (2013). A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation*, 7: 1-47.